CONSTRUCCION GENERAL,

POR

D. JOSÉ A. REBOLLEDO,

INGENIERO JEFE

Y PROFESOR DE LA ESCUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS,

INDIVÍDUO DE NÚMERO

de la Sociedad Arqueológica Tarraconense, etc.

MADRID:

IMPRENTA Y FUNDICION DE J. ANTONIO GARCÍA,

Calle de Campomanes, núm. 6.

1875.

CONSTRUCCION GENERAL.

ADVERTENCIA.

La falta de un libro que comprenda los modernos adelantos en el arte de construir y que sirva para la enseñanza de esta materia con la conveniente extension, es la causa de haber acometido la empresa de escribir esta obra. Trabajo árduo, difícil y arriesgado para cualquiera, lo es mucho más para el que se ha propuesto realizarlo; y nunca lo hubiera intentado, si no creyera que así cumple un deber moral que su cargo le impone.

La variedad de las materias que una obra de esta naturaleza comprende; la extension relativa que debe darse á cada una de ellas, con arreglo á su importancia; los diversos procedimientos que en el dia se adoptan en las construcciones que se levantan, y su exámen y comparacion, son otras tantas razones que exigen, de parte de quien haya de escribir una obra de esta clase, profundos conocimientos en el arte de la construccion y tiempo holgado para el objeto; condiciones ambas de que carece el autor de este libro. Mas supliendo, en cuanto le ha sido dable, tales inconvenientes, ha tratado de reunir en un cuerpo de doctrina las teorías y procedimientos más aceptados en esta materia y de adoptar en el lenguaje el tecnicismo que el uso frecuente de autores extranjeros ha hecho descuidar entre nosotros.

El arte de construir, tomado en toda su generalidad, comprende tres operaciones ó ramas distintas y funda-

mentales, que son: primera, la determinacion de la forma, disposicion y magnitud que debe darse á un monumento, en armonía con el destino que debe cumplir; segunda, la adopcion de los materiales y reglas más convenientes para realizar su ejecucion, y tercera, la eleccion de los medios más á propósito para que el monumento resulte con una ornamentacion adecuada al carácter que debe revelar. La primera varía en extremo segun sea el destino y las necesidades que esté llamada á satisfacer la construccion; la segunda aplica, segun las circunstancias, principios fijos á todas las obras, por más que en cada caso particular puedan variarse los detalles, é imprime el sello de la solidez; y por último, la tercera adapta las reglas estéticas á la naturaleza, situacion y destino del monumento, para que resulte una íntima armonía entre su carácter real y el ideal que deba revelar.

Por lo tanto, toda construccion bien concebida y ejecutada deberá despertar en el observador el sentimiento de bondad, de verdad y de belleza, para que satisfaga plenamente el objeto que debe cumplir.

Del extenso campo que segun acabamos de exponer abraza en general la construccion, solo nos ocupamos en la presente obra de la segunda de las tres ramas referidas; y para hacer de ella un estudio ordenado, la dividiremos en construccion de las obras de tierra, construccion de las obras de arte y conservacion y reparacion de unas y otras.

NOTA. Al final de la obra se inserta una lista de los principales autores consultados, á fin de que se puedan examinar en caso necesario para tener más detalles que los que aquí consignamos.

Los números comprendidos entre paréntesis que aparecen en el texto indican referencias al párrafo correspondiente, y las fracciones que del mismo modo se han puesto en las figuras, expresan la escala en que están dibujadas.

PARTE PRIMERA.

CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE TIERRA.

1. **Problema general.**—Cuando se quiere reemplazar la superficie natural de un terreno por otra de forma determinada y cuya posicion respecto á la primera sea conocida, será necesario, si la nueva superficie es inferior, verificar un desmonte en la antigua; y por el contrario, si ésta ha de quedar por bajo de la nueva, se habrá de formar un terraplen. La determinacion prévia de los volúmenes de tierra que en cada caso haya necesidad de desmontar ó terraplenar y la manera más conveniente de ejecutar estos trabajos, es lo que constituye la construccion de las obras de tierra, de que nos vamos á ocupar.

CAPÍTULO I.

Cubicacion de tierras.

2. **Preliminares.**—Para determinar el volúmen de tierras que en un caso dado hay que remover, á fin de sustituir la superficie natural del terreno por otra, es necesario conocer ambas en su generacion geométrica y en su posicion respectiva. Las que resultan despues de hechos los trabajos de remocion son siempre superficies geométricas definidas, más ó ménos sencillas; pero no sucede lo mismo con las que naturalmente presenta el terreno, que de ordinario son completamente irregula-

res, lo que obliga á sustituirlas por otras geométricas que se aproximen lo más posible á coincidir con ellas, á fin de poder despreciar los errores que por esta sustitucion resulten en el volúmen buscado.

Si suponemos, para justificar esta sustitucion, que el espacio comprendido entre las dos superficies indicadas le dividimos por planos verticales, cuyas trazas horizontales sean las cuatro rectas *ab*, *bd*, *cd* y *ca* (figura 1.ª, lámina 1.ª), estos podrán aproximarse lo necesario para que sus intersecciones con el terreno se consideren, sin error sensible, como líneas rectas. En tal caso se admite que la superficie *abcd* del terreno que comprenden estos planos se engendra por el movimiento de una recta *ef*, que, apoyándose en las *ab* y *cd* como directrices, se conserva constantemente paralela al plano paralelo á las *bd* y *ac*. En este supuesto, se verificará que $\frac{ae}{eb}=\frac{cf}{fd}$; y como el cuadrilátero rectilíneo *abcd* del terreno natural es generalmente alabeado, resulta que la superficie que acabamos de definir es un paraboloide hiperbólico.

Se deduce de lo que hemos expuesto, que el problema de la cubicacion de tierras está reducido á determinar el volúmen de uno ó varios prismas limitados lateralmente por planos verticales, teniendo una base formada por un paraboloide hiperbólico y la otra por una superficie geométrica conocida, que generalmente es un plano ó una superficie alabeada.

ARTÍCULO I.

Método exacto.

Cada uno de los prismas de que hemos hablado se le puede considerar como la suma ó la diferencia de otros dos; porque si suponemos que se le corta por un plano horizontal *ABCD* (figura 2.ª) comprendido entre las dos superficies referidas, el prisma total será la suma de otros dos que tengan por base comun la seccion recta *ABCD* y estén limitados el uno por la superficie del terreno *abcd* y el otro por la que debe reemplazarla *a'b'c'd'*, que recibe el nombre de *explanacion*. Si la seccion recta dejara del mismo lado las dos superficies antedichas, es evidente que el volúmen buscado seria igual á la di-

ferencia de los dos prismas resultantes. De modo, que en general el problema queda reducido á hallar el volúmen comprendido por cuatro planos verticales, uno horizontal y una superficie alabeada; y la fórmula que se obtenga para deducir uno de estos volúmenes servirá igualmente para el otro y su suma ó diferencia dará el volúmen buscado.

3. **Caso general.**—Concibamos un plano que pase por las rectas *ab* y *ad* y otro pasando por las *cb* y *cd*; estos dos planos habrán de ser distintos si el cuadrilátero *abcd* es alabeado y se cortarán segun la línea *bd*. Del mismo modo, los planos que pasen por *ba* y *bc* y por *da* y *dc* tendrán por interseccion la recta *ac*, que se cruzará en el espacio con la *bd*. Estos cuatro planos forman un tetraedro, cuya posicion respecto á la superficie del terreno vamos á determinar. Si cortamos este tetraedro por un plano paralelo á las rectas *ab* y *cd* dará por seccion un paralelógramo *mnpq*, cuyos lados serán respectivamente paralelos á estas rectas; pero el mismo plano cortará al paraboloide del terreno segun la recta *mp*, en virtud de lo que hemos dicho anteriormente, y esta recta es la diagonal del paralelógramo, dividiéndole por consecuencia en dos triángulos equivalentes.

Lo mismo sucederia con cualquier otro plano paralelo al *mnpq*; de modo que el volúmen elemental comprendido entre dos de estos planos consecutivos, dentro del tetraedro, se encuentra dividido en dos partes equivalentes por el paraboloide de la superficie.

Llamando P al volúmen del prisma limitado superiormente por las caras del tetraedro que se cortan segun *bd*; P' al correspondiente al limitado por las caras inferiores que se encuentran segun *ac*; T al volúmen del tetraedro y V al que se busca comprendido entre los cuatro planos verticales, el horizontal y el paraboloide, se tendrá

$$\begin{cases} V=P-{}^1/_2\ T=P'+{}^1/_2\ T \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1) \\ T=P-P'. \end{cases}$$

De donde se deduce

$$V={}^1/_2\,(P+P').$$

Determinemos ahora P y P'. El primero le podremos suponer descompuesto en dos, trazando el plano vertical que pasa por

bd, que dividirá á la base en dos triángulos *ABD* y *BCD*, cuyas áreas llamaremos respectivamente Ω y Ω'': estos triángulos corresponden á dos prismas truncados *p* y *p''* y su volúmen será, llamando *h*, *h'*, *h''* y *h'''* la altura de las aristas del prisma que pasan por los vértices *A*, *B*, *C* y *D* de la seccion recta,

$$\begin{cases} p=\frac{1}{3}\Omega\,(h+h'+h''') \\ p''=\frac{1}{3}\Omega''\,(h'+h''+h''');\ \text{luego} \end{cases}$$

$$P=\frac{\Omega\,(h+h'+h''')}{3}+\frac{\Omega''\,(h'+h''+h''')}{3}.$$

Del mismo modo, para hallar P' tendriamos que dividirle por un plano vertical pasando por *ac*, y llamando Ω' y Ω''' á los dos triángulos *ABC* y *ADC* que resultarian en la base y *p'* y *p'''* los prismas parciales correspondientes, tendriamos

$$\begin{cases} p'=\frac{1}{3}\Omega'\,(h+h'+h'') \\ p'''=\frac{1}{3}\Omega'''\,(h+h''+h''');\ \text{de donde} \end{cases}$$

$$P'=\frac{\Omega'\,(h+h'+h'')}{3}+\frac{\Omega'''\,(h+h''+h''')}{3}.$$

El volúmen buscado será por lo tanto

$$V=\frac{1}{2}\left\{\frac{\Omega\,(h+h'+h''')}{3}+\frac{\Omega''\,(h'+h''+h''')}{3}+\frac{\Omega'\,(h+h'+h'')}{3}+\frac{\Omega'''\,(h+h''+h''')}{3}\right\}\ldots\ldots(2)$$

Si quisiéramos hallar el volúmen comprendido entre la seccion recta y la explanacion *a'b'c'd'*, obtendríamos una expresion de la misma forma que la anterior, solo que los valores de *h*, *h'*.... se obtendrian restando de las alturas totales comprendidas entre el terreno y la explanacion las de la fórmula anterior; y como se habrian de sumar ambas expresiones para obtener el volúmen total buscado, resultaria una fórmula igual á la (2), en la que *h*, *h'*..... representarian las alturas comprendidas entre las dos superficies de explanacion y del terreno.

4. **Casos particulares.**—Esta fórmula general se simplifica cuando la seccion horizontal, en vez de ser un cuadrilátero cualquiera, afecta una forma más regular. Si es un trapecio en que

los lados AB y CD son paralelos, resultará que $\Omega=\Omega'$ y $\Omega''=\Omega'''$ y la fórmula (2) se trasforma en

$$V=\tfrac{1}{2}\left(\frac{\Omega(2h+2h'+h''+h''')}{3}+\frac{\Omega''(2h''+2h'''+h+h')}{3}\right)\ldots(3)$$

Cuando en el trapecio anterior el lado AD, por ejemplo, es perpendicular á los AB y CD, y llamamos respectivamente á sus longitudes l, b y b', tendremos que, representando por S el área del trapecio $ABab$ y por S' la del $CDcd$, la fórmula anterior se convierte en

$$V=\tfrac{1}{3}\,l\left(S+\tfrac{1}{2}\,b\,\frac{h''+h'''}{2}+S'+\tfrac{1}{2}\,b'\,\frac{h+h'}{2}\right)\ldots(4)$$

Si el trapecio se convierte en rectángulo, se verificará que $b=b'$, y la fórmula anterior se reduce á

$$V=\tfrac{1}{2}\,l\,(S+S')\ldots(5)$$

Por último, si la base se reduce á un triángulo cualquiera, tal como el ABD, el valor de T en la fórmula (1) será cero, y el volúmen que se busca se convertirá en el de un prisma truncado, cuya expresion es

$$V=\Omega\,\frac{h+h'+h'''}{3}$$

Siendo Ω el área de la base y h, h' y h''' las tres aristas verticales. Poniendo en lugar de Ω su valor $\tfrac{1}{2}\,bl$, resulta

$$V=\frac{bl}{2}\,\frac{h+h'+h'''}{3}\ldots(6)$$

que se convierte en el volúmen de un tetraedro cuando h' y h''' son cero.

5. **Aplicaciones generales de las fórmulas anteriores.**—Hemos visto que cuando es un rectángulo la seccion recta del prisma cuyo volúmen queremos determinar, su valor viene dado por

$$V=\tfrac{1}{2}\,l\,(S+S')$$

y examinemos ahora si esta fórmula es aplicable á un sólido cualquiera limitado por dos planos verticales y paralelos.

Sean MN y $M'N'$ (fig. 3), las trazas horizontales de estos dos planos, y supongamos que el sólido referido los corta segun

dos contornos, que rebatidos son respectivamente *abcdefg* y *a'b'c'd'e'f'g'*. Si aplicamos el método general para hallar el volúmen comprendido entre estos dos planos, tendremos que considerar otra série de planos *mn*, *m'n'*... perpendiculares á los primeros y suficientemente próximos para poder suponer, sin gran error, que son alabeadas las superficies del terreno y de la explanacion comprendidas por estos planos y que tienen por plano director uno paralelo á los *mn*. Pero no es aplicable directamente el método general á la determinacion del volúmen proyectado en el rectángulo *mn m'n'*, porque aquí no se verifica el supuesto en que se funda, esto es, que cada plano vertical corte al terreno segun una línea recta; puesto que el *M'N'* le corta segun las dos rectas *εc'* y *c'd'* del rebatimiento, y seria preciso para ello considerar dos paraboloides separados por la generatriz comun *m''n''* y que tuvieran por directrices en el plano *M'N'* las dos rectas *εc'* y *c'd'*. Sin embargo, como en la fórmula (5) solo entran la distancia $l=mn$ entre los dos planos paralelos, y las áreas correspondientes situadas en estos planos, resultará que el volúmen proyectado en *mnm'n'* le podremos dividir en dos; el *mnm''n''* y el *m''n''m'n'*.

El primer volúmen estará dado por la expresion

$$V_1 = {}^1/_2\, l\,(A+B)$$

siendo A el área *αm m''γ* y B la *εnn''c'*; y el segundo tendrá por valor

$$V_2 = {}^1/_2\, l\,(A'+B')$$

representando A', la superficie *γm''m'λ* y B' la *c'n''n'd'*: de modo que el volúmen proyectado en *mn m'n'* será

$$V' = V_1 + V_2 = {}^1/_2\, l\,(A+A'+B+B')$$

Como estas mismas consideraciones se podrian aplicar al resto del volúmen proyectado en *axyz* resultaria que este estaria dado por la expresion

$$V = {}^1/_2\, l\,(S+S'),\ \text{en la que}\ S=A+A'+\ldots\ \text{y}\ S'=B+B'+\ldots$$

Hay, por regla general otros volúmenes, á más del considerado, que se proyectan en los triángulos *axa'* é *yzh*; pero si en esta zona trazamos planos paralelos al *mn* no cortarán más que á una de las secciones trasversales producidas por los *MN*

y *M'N'*, y por lo tanto no son aplicables las consideraciones anteriores. Si se quiere hallar el volúmen correspondiente á estas zonas laterales y nos fijamos en la *yzh*, trazaremos planos verticales que concurran en el punto *z*, como el *gz* (a) y el volúmen proyectado en *gyz*, siendo triangular su base que llamaremos Ω, será

$$V_1' = \Omega \frac{h+h'+h''}{3};$$

pero como la altura correspondiente al punto *z* es nula, se tendrá $h=o$; siendo además $h'=yp$ y $h''=gq$, y si hacemos $gy=b$, en cuyo caso $\Omega = \frac{1}{2} bl$, el valor de V_1' se convertirá en

$$V_1' = \frac{1}{3}\, l\, b \frac{yp+gq}{2}$$

Ahora bien, como $b \frac{yp+gq}{2}$ es el área del trapecio *pqyg*, que podemos llamar A_1, tendremos que

$$V_1' = \frac{1}{3}\, l\, A_1$$

Esta misma expresion tendríamos para los demás volúmenes proyectados en los triángulos parciales *grz*, *hrz*, y en el *axa'*; de modo que llamando *s* al área *pefgy*, y *s'* á la *a'b'p'x*, tendremos para el volúmen proyectado en *aa'x* é *yzh*

$$V = \frac{1}{3}\, l\, (s+s')$$

Sumando este volúmen con el de la fórmula (5) para obtener el total que se busca, resultará

$$V = \frac{1}{2}\, l\, (S+S') + \frac{1}{3}\, l\, (s+s') \ldots \quad (7)$$

6. **Líneas de paso.**—En ciertos casos sucede que la explanacion corta á la superficie del terreno, lo que tendrá lugar si suponemos que *a'b'c'd'* (fig. 2) sube lo bastante para que los

---

(a) Estos planos convergentes, dada la generacion admitida del terreno, no le cortan en realidad segun rectas, como se supone en las fórmulas que siguen, sino segun ramas de hipérbola; pero como éstas son en general de muy poca curvatura y el volúmen que se trata de calcular es pequeño, se puede admitir, sin error sensible, que la curva seccion se confunde con una recta.

puntos *c'd'*, por ejemplo, resulten por encima de los *cd*, permaneciendo los *a'b'* inferiores á sus correspondientes *ab*, y entonces hay que determinar primeramente la interseccion de estas superficies, la cual recibe el nombre de *línea de paso*, y es la que separa la parte que está en desmonte de la que se encuentra en terraplen. Hecho esto, como veremos más adelante, se calculan aparte estos dos volúmenes, empleando las fórmulas que vamos á deducir.

Varios son los casos que pueden presentarse respecto á la forma y posicion que tenga la línea de paso, suponiendo siempre que el sólido está comprendido entre dos planos verticales y paralelos, y son los siguientes:

1.° Que la línea de paso sea una recta *mn*, paralela á la trazas de los dos planos *MN*, *M'N'*, segun se ve en dos proyecciones en la fig. 4.

2.° Que sea una línea quebrada compuesta de rectas paralelas y perpendiculares á dichas trazas (fig. 5.)

3.° Que sea una línea quebrada cualquiera (fig. 6.)

4.° Que sea una línea curva. Este caso puede referirse al anterior, sin error sensible, reemplazando á la curva por una línea quebrada que difiera poco de ella.

Si admitimos en el primer supuesto que *MN*, *M'N'* (fig. 4) son las trazas de los dos planos paralelos, *mn* la línea de paso, y si representamos en proyeccion vertical la seccion que ocasiona el plano *MM'*, perpendicular al *MN*, con las superficies de explanacion y del terreno, que serán respectivamente las líneas *ab* y *cd*, resultará que el volúmen proyectado entre las líneas *MN* y *mn* estará en desmonte, y el comprendido entre esta última y la *M'N'* se encontrará en terraplen.

Para hallar uno de estos volúmenes, el desmonte, por ejemplo, haremos uso de la fórmbla (7) modificada convenientemente. Desde luego se verificará que $S'=o$; por ser nula el área comprendida entre la explanacion y el terreno segun la línea de paso, y s y s' tendrán ciertos valores si la proyeccion horizontal del sólido es de forma trapezoidal ó serán nulos si es rectangular. Lo mismo puede decirse para la parte en terraplen; luego la expresion general para cualquiera de estos casos es

$$V={}^1/_2 lS+{}^1/_6 l(s+s') \ldots\ldots (8)$$

Estando el segundo supuesto representado en la figura 5 y siendo *mnpqr* la línea de paso, se podrán dividir los dos volúmenes, en desmonte y terraplen, en otros parciales, por medio de planos perpendiculares al *MN* que pasen por los vértices de la línea de paso. Cada uno de estos volúmenes parciales se encuentra en las condiciones del caso anterior, empleándose, por lo tanto, la misma fórmula (8).

En el tercero de los casos señalados, supongamos que *mnpqrs* (fig. 6) es la línea de paso, y *MN*, *M'N'* los dos planos que limitan el volúmen buscado, estando en desmonte la parte contigua al primero. Rebatamos el plano *MN* y sean respectivamente *abcdef* y *x y* su seccion con el terreno y con la explanacion. El volúmen parcial en desmonte proyectado horizontalmente en el trapecio $\alpha\beta\gamma\delta$ estará dado por la fórmula (3).

$$V={}^1/_2\left(\frac{\Omega\,(2h+2h'+h''+h''')}{3}+\frac{\Omega''\,(2h''+2h'''+h+h')}{3}\right)$$

pero en los puntos $\alpha\delta$ de la línea de paso las alturas h, h''' son nulas. Además, si representamos la distancia $\beta\gamma$ por b, la $\alpha\,\beta$ por l' y la $\gamma\delta$ por l'', resultará que

$$\Omega={}^1/_2\,l'\,b;\ \Omega''={}^1/_2\,l''\,b:$$

y sustituyendo tendremos

$$V={}^1/_{2.3}\left(\frac{b\,l'}{2}(2h'+h'')+\frac{bl''}{2}(2\,h''+h')\right)$$

ó bien

$$V={}^1/_{12}\left(b\,(h'+h'')\,(l'+l'')+bl'h'+bl''h''\right)$$

Si consideramos ahora que b $(h'+h'')$ es el doble del área del trapecio $dc\,\delta'\alpha'$, la que llamaremos S; que bh' es la del rectángulo $dd'\ \delta'\alpha'$, compuesta de la del trapecio S más la del triánguo $dd'c$, que representaremos por T, y por último, que bh'' es la correspondiente al rectángulo $cc'\ \delta'\alpha'$ que estará expresada por $S-T$, resultará sustituyendo

$$V={}^1/_{12}\,(2S\,(l'+l'')+l'\,(S+T)+l''\,(S-T)$$

de donde

$$V={}^1/_2\,S\frac{l'+l''}{2}+{}^1/_4\,T\frac{l'-l''}{3}\ldots\ldots\ldots(9).$$

El volúmen que esta fórmula representa está compuesto del primer término, que no es más que la expresion general $^1/_2\, lS$ de la fórmula (8) cuando $l=\frac{l'+l''}{2}$ y del segundo, que es un término de correccion y representa la cuarta parte de un tetraedro cuya base es T y la altura $l'-l''$; término que puede cambiar de signo segun los valores respectivos de l' y l''.

Influye más ó ménos en el volúmen total este término de correccion segun aumente ó disminuya la inclinacion de la línea de paso con respecto á la traza MN. Así es que si esta línea es paralela á dicha traza, $l'=l''$ y el término se reduce á cero, convirtiéndose entonces la fórmula en

$$V={}^1/_2\, l\, S$$

conforme con lo que dijimos al tratar de la (8). Tambien se reducirá á cero cuando la recta cd sea horizontal, porque entonces $T=o$.

Si la proyeccion horizontal del volúmen se convierte de un trapecio en un triángulo, esto es, cuando el punto δ se confunde con el γ, se verificará que $l''=o$, $h''=o$ y $S=T$, reduciéndose entonces la fórmula (9) á

$$V={}^1/_3\, l'S \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

como debia suceder, puesto que el volúmen se trasforma en el de un tetraedro.

Estas mismas fórmulas se aplican al resto del desmonte de la fig. 6.ª y á la parte en terraplen, para conocer los volúmenes respectivos.

7. **Aplicaciones á las vias de comunicacion.**—Las construcciones en que tienen más empleo estas fórmulas son las vias de comunicacion en general, para cuyo establecimiento hay que verificar grandes remociones de tierra y en las que es de suma importancia hallar con la suficiente exactitud el volúmen de estas remociones, para poder despues deducir su coste.

8. **Generacion de estas vías.**—Si suponemos que la proyeccion horizontal del eje de la vía es la línea *abcde* (figura 7), que tomamos como directriz de un cilindro vertical, el cual cortará al terreno segun una cierta línea, y desarrollamos

el cilindro, esta línea se trasformará en la *lmnpqr*, que recibe el nombre de *perfil longitudinal*. El mismo cilindro corta á la explanacion segun otra línea, llamada *rasante* cuya trasformada es la *st*. Ahora bien, las vías se suponen engendradas por una recta horizontal y normal al cilindro, que se mueve apoyándose constantemente en la rasante, y determina por lo tanto una superficie alabeada de plano director horizontal, la cual se convierte en un plano cuando la proyeccion horizontal del eje de la vía es una recta, ó sea horizontal la rasante.

El perfil longitudinal se obtiene por medio de una nivelacion topográfica hecha en el terreno á lo largo del eje *abcde*, y la rasante, que generalmente es una línea recta ó quebrada, se traza despues en el perfil longitudinal con arreglo á las exigencias de la obra.

Además se trazan planos verticales *MN*, *M'N'*, perpendiculares al cilindro proyectante del eje de la vía, cuya interseccion con el terreno dan lo que se llaman *perfiles trasversales*, cada uno de los que tiene un punto comun con el perfil longitudinal, y colocados á distancias convenientes dan idea bastante exacta de la forma y relieve del terreno, en la zona que abrazan á uno y otro lado del eje. En efecto, se admite que las intersecciones entre dos perfiles trasversales, que en la superficie del suelo ocasionan cilindros ó planos paralelos á los proyectantes del eje de la vía, son líneas del mismo género que las del perfil longitudinal correspondiente; de modo que si esta es una recta, rectas serán tambien aquellas. Estos perfiles, del mismo modo que el longitudinal, se obtienen por nivelaciones en direccion trasversal á la vía.

Tomando un plano horizontal de comparacion *xy*, se llaman *ordenadas negras* á las alturas sobre el mismo de los diversos puntos de la línea *lmn*...; *ordenadas rojas* á las correspondientes á los puntos de la rasante, y *cotas rojas* á la diferencia de ambas ordenadas, para un punto dado del terreno. Así se tiene que *qq''* es para el punto *q* la ordenada negra, *q'q''* la roja, y *qq'* la cota roja. Suponiendo ahora rebatido el perfil trasversal al rededor de la recta interseccion de dicho perfil con la explanacion, y admitiendo que la parte superior se mueva hácia la izquierda, tendremos para el perfil núm. 1 ó *MN* el contorno *a'd'f'h'k'l'm'n'o'*, en el que *r'r'* es la cota roja; *l'm'* la lí-

nea de explanacion, $g'h'k'l'$ la seccion en una de las dos regueras laterales, llamadas *cunetas*, que se abren en los desmontes para dar salida á las aguas de lluvia y $f'g'$, á p' la interseccion con los taludes del desmonte (a).

Si el perfil trasversal corresponde á un terraplen (núm. 3), entonces no existen las cunetas y las lluvias se desprenden de la vía corriendo por los taludes gf'', y por último, cuando la vía se establece en una ladera ó falda de una montaña, el perfil trasversal tiene una parte en desmonte y otra en terraplen, como se ve en los señalados con los números 4 y 5 y recibe entonces el nombre de á *media ladera.*

9. **Casos que se presentan.**—Veamos ahora cómo se determina el volúmen comprendido entre dos perfiles trasversales consecutivos, ó sea de un *entreperfil*, en los casos que pueden presentarse, que son los cuatro siguientes:

1.° Que ambos perfiles se encuentren en desmonte ó ambos en terraplen.

2.° Que uno esté en desmonte y en terraplen el otro.

3.° Que uno esté en desmonte ó en terraplen, y el otro á media ladera.

4.° Que ambos perfiles se encuentren á media ladera.

10. **Primer caso.**—Estando los dos perfiles en desmonte, por ejemplo, y suponiéndolos rebatidos como representa la figura 7 tracemos los planos verticales paralelos al eje de la vía MM', $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, NN', de suerte que sean rasantes á las secciones trasversales y se habrá dividido el volúmen total en tres partes; una central, cuya base es el retángulo $\alpha\beta\gamma\delta$, y dos laterales proyectadas en los triángulos $M\alpha\beta$ y $\gamma NN'$. Estamos, pues, en

---

(a) Realmente no es una recta la línea de explanacíon sino la quebrada *abcdef* (figr. 8), rellenándose la parte *bcde*, llamada *caja*, con el firme sobre el que pasan los vehículos y teniendo los lados *a b* y *ef* ó *paseos*, una cierta inclinacion para facilitar la salida del agua á las cunetas; pero si suponemos trazada la recta *af*, que pasa por el borde exterior de los paseos, toda el área de la explanacion inferior á esta recta, del mismo modo que la superior, es conocida y constante en cada vía; de modo que solo hay que hallar el área superior á dicho recta y añadirla la parte constante correspondiente á las cunetas, puesto que se admite que la recta *af* compensa, en la explanacion, la parte que se aumenta con la que se disminuye.

el mismo caso á que se refiere la fórmula (7) y por consiguiente la expresion del volúmen buscado será

$$V = \frac{1}{2}\, l\, (S+S') + \frac{1}{3} l\, (s+s')$$

siendo $S+s$ y $S'+s'$ las áreas de los dos perfiles y l la distancia que los separa.

La misma fórmula se aplicaria si el volúmen estuviera en terraplen.

11. **Segundo caso.**—Cuando un perfil está en desmonte y el el otro en terraplen hay que comenzar por obtener la línea de paso que entre ambos debe existir.

Para esto admitiremos, como se ha dicho antes, que si se hace mover una recta sobre las líneas $a''b''c''d''$ y $a'''b'''c'''$, de suerte que siempre quede paralela al plano vertical que pasa por el eje, la superficie así engendrada coincidirá con la del terreno. El punto en que la línea de paso corta al eje de la vía se determina desde luego trazando el plano vertical que pasa por dicho eje, el cual cortará en el desarrollo á la explanacion segun la rasante st, y al terreno segun la recta np: el punto de interseccion $o'o$ corresponde á la línea de paso (a).

Otro plano paralelo á éste, como vv, cortará al terreno segun la recta $v'v'$ y segun la misma st á la explanacion, dando de un modo análogo otro de los puntos buscados, y así continuaríamos hasta llegar á los bordes exteriores de los paseos, que nos darian los puntos 2 y 3. Para hallar el correspondiente al plano que pasa por el borde inferior n'' de la cuneta es preciso suponer provisionalmente otra cuneta en el perfil núm. 3 y siguiendo el mismo procedimiento se tendrá el punto de paso 2': ahora, desde este punto la línea de paso irá á morir por la parte del desmonte al punto ε y por la del terraplen al ε'.

Generalmente solo se hallan los puntos de paso en las inflexiones $b''c''$, $b'''c'''$, del terreno y en las $m''n''$... de la explanacion, y uniendo por rectas los puntos correspondientes se obtiene

---

(a) La distancia x del punto o al perfil núm. 2 se determina desde luego por la semejanza de los triángulos ons y otp (fig. 9) que dá, llamando l á la distancia total del entreperfil,

$$x : l-x :: ns : tp, \text{ de donde}$$

$$x = l \frac{ns}{ns+tp}$$

para línea de paso una quebrada. Toda la parte comprendida entre esta línea y el perfil núm. 2 está en desmonte y la otra hasta el perfil núm. 3 se encuentra en terraplen.

Una vez hallada la línea de paso se determinan fácilmente los volúmenes respectivos de desmonte y terraplen, puesto que no habrá más que aplicar en cada circunstancia, segun sus condiciones, una de las fórmulas (8), (9) ó (10).

12. **Tercer caso.**—El tercero de los casos que estamos examinando se vé representado por los perfiles números 3 y 4 de la figura 7. Si desde el punto *a* trazamos un plano vertical *ab* paralelo al eje de la vía, dividirá al volúmen en dos partes; una toda en terraplen que está proyectada en *ab* $\varepsilon'\varepsilon''$, á la que se aplicará la fórmula (7), puesto que corresponde al primer caso y otra que contiene desmonte y terraplen, la cual se proyecta en *ab* δ' δ'' y para la que se empleará la conveniente de las (8), 9) ó (10).

13. **Cuarto caso.**—Por último, la determinacion del volúmen en el cuarto caso, correspondiente á los perfiles números 4 y 5 se puede referir á alguno de los anteriores, trazando por los puntos *a* y *c* dos planos paralelos al eje. El volúmen total queda así dividido en tres zonas, la central que se encuentra en el segundo caso y las dos laterales que están en el primero. Pudiera sin embargo, dividirse en solo dos zonas, separadas por el plano vertical *ac*, á cada una de las que se aplicaria la fórmula (7).

Hemos supuesto en los cuatro casos que acabamos de considerar que la proyeccion del eje de la vía es recta; pero si fuera curva, como aparece á la izquierda de la figura, se aplican las mismas fórmulas anteriores; y si bien entonces se admite que la distancia constante entre los dos perfiles trasversales es el arco *bc* rectificado, lo cual no es verdad en la generalidad de los casos, los errores que por tal supuesto se cometen son ordinariamente de poca importancia y se reducen á medida que el rádio de la curva aumenta. Por otra parte, como en las vías de comunicacion se trata siempre de reducir la longitud de los trozos curvos y de darles un gran rádio, resulta que en las aplicaciones no presenta inconveniente el empleo de las fórmulas deducidas para el caso de ser rectilínea la direccion del eje.

ARTÍCULO II.

Métodos expeditos.

Las fórmulas que hemos obtenido comprenden todos los casos de remocion de tierras; pero su aplicacion conduce generalmente á cálculos muy largos y pesados, razon por la que se han admitido otros métodos que den el resultado que se busca con la suficiente aproximacion y mayor rapidez, razon por la que se aplican con frecuencia en las obras que no exijen una gran exactitud. Pasemos á exponerlos.

14. **Método de la media de las áreas.**—Este, que se empleó primeramente, se aplica á los cuatro casos examinados en el artículo anterior, de la manera siguiente:

Estando los dos perfiles trasversales en desmonte ó ambos en terraplen, se admite que el volúmen buscado es igual á la semisuma de sus áreas, multiplicada por la distancia, ó bien llamando V' el volúmen y conservando las mismas notaciones de los números (5) y (6)

$$V' = l \, \frac{S+s+S'+s'}{2}$$

y como la expresion exacta de este volúmen es

$$V = {}^1/_2 \, l \, (S+S') + {}^1/_3 \, l \, (s+s')$$

tendremos que el error que se comete es por exceso y tiene por valor

$$E = V' - V = {}^1/_2 \, l \, \frac{s-s'}{3}$$

es decir, la mitad de la suma de los volúmenes de las dos pirámides laterales. Este error se anula cuando s y s' son cero, esto es, cuando la proyeccion horizontal del volúmen es un rectángulo.

Siempre que un perfil está en desmonte y el otro en terraplen, como los números 2 y 3 de la figura 7, ya hemos dicho que se comienza por hallar la línea de paso; pero supongámosla ya trazada y tratemos de determinar el volúmen en desmonte proyectado en ε 2'2 o 34 N' por el método de la media de las áreas. Si por la recta 01 suponemos un plano vertical y llama-

mos k la distancia media de este plano al perfil 2, siendo A el área $vv_1\ tt_1$ y nula la proyectada en 01, tendremos que por el método que examinamos el volúmen en desmonte V_d' estará dado por

$$V_d' = {}^1/_2\ A.k\ldots\ldots\ (A).$$

y análogamente tendríamos para el volúmen en terraplen

$$V_t' = {}^1/_2\ A'k'\ldots\ldots (B.)$$

Siendo A' el área $vv_2\ tt_2$ y k' la distancia media de 01, al perfil 3; de suerte que la distancia l entre los dos perfiles será

$$l = k + k'$$

Pero dada la generacion de la superficie, k aumentará ó disminuirá á medida que aumente ó disminuya A, y otro tanto pasará á k' respecto á A', de modo que si se admite que haya proporcionalidad entre estos valores tendremos

$$\frac{k}{A} = \frac{k'}{A'} = \frac{l}{A + A'}$$

de donde

$$\begin{cases} k = l\ \dfrac{A}{A + A'} \\ k' = l\ \dfrac{A'}{A + A'} \end{cases}$$

valores que sustituidos en las ecuaciones (A) y (B) dan

$$\begin{cases} V_d' = {}^1/_2\ l\ \dfrac{A^2}{A + A'} \\ V_t' = {}^1/_2\ l\ \dfrac{A'^2}{A + A'} \end{cases}$$

Aplicando estas expresiones á los demás volúmenes parciales, y llamando S al área total del perfil en desmonte y S' á la del terraplen, resultará para el volúmen del entreperfil

$$\begin{cases} V_d' = {}^1/_2\ l\ \dfrac{S^2}{S + S'} \\ V_t' = {}^1/_2\ l\ \dfrac{S'^2}{S + S'} \end{cases}$$

El error que se comete empleando las fórmulas precedentes en lugar de las (8) ó (9) no es tan fácil de determinar en general como en el caso anterior; pero se puede conocer en las apli-

caciones y deducir el grado de aproximacion que proporcionan estas fórmulas, las que por otra parte son de un uso muy frecuente.

Los dos últimos casos, esto es, cuando un perfil está en desmonte ó en terraplen y el otro á media ladera, ó cuando ambos están á media ladera, los hemos subdividido en partes para hallar su volúmen, cada una de las que se encontraba en uno de los dos casos primeros, y por lo tanto, entonces como ahora, no hay más que aplicar á cada parte la fórmula correspondiente.

15. **Método del área media.**—Consiste en suponer que el volúmen comprendido entre dos perfiles se obtiene multiplicando su distancia por el área de un perfil intermedio y equidistante de los dados.

Estando los dos perfiles en desmonte ó en terraplen como los números 1 y 2 de la figura 7 y llamando Ω al área del perfil intermedio, el volúmen estará representado por

$$V'=l\Omega$$

Pero más adelante veremos (36) que cuando la proyeccion horizontal del volúmen es un rectángulo se verifica que

$$\Omega=\frac{S+S'}{2};$$

por lo tanto este método dará, para este caso, el mismo resultado que el exacto; pero si la proyeccion fuera un trapecio, las dos pirámides laterales cuyas bases hemos representado por s y s' tendrian por volúmen verdadero

$$V_1={}^1/_3\, l\,(s+s')$$

y segun este método seria, llamando ω y ω' las áreas de las secciones medias

$$V_2=l\,(\omega+\omega')={}^1/_4\, l\,(s+s')$$

siendo entonces el error por defecto é igual á

$$V_1-V_2={}^1/_4\, l\,\frac{(s+s')}{3}$$

ó lo que es lo mismo, la cuarta parte de la suma de los volúmenes de las dos pirámides laterales.

Sin embargo de que este método da ménos error que el de

la media de las áreas para el primero de los casos considerados en las vias de comunicacion, no sucede lo mismo para el segundo, en el que caè en completo defecto, haciéndole de todo punto inaplicable. En efecto, si consideramos el perfil longitudinal comprendido entre los trasversales números 2 y 3 y examinamos la línea de paso, fácilmente veremos que la seccion media, si no corta á esta línea, solo dará una área en desmonte ó en terraplen, y el volúmen que se obtenga solo será de una de estas dos clases, lo que es absurdo; y si por el contrario la corta, los volúmenes de desmonte y terraplen que se deduzcan serán mucho menores que los verdaderos, reduciéndose á cero cuando la línea de paso sea una recta paralela y equidistante de las dos secciones extremas, lo que tambien es absurdo.

Como en los otros dos casos de aplicacion subsisten en mayor ó menor escala estos inconvenientes, de aquí que solo se aplique este procedimiento al primero, si bien su uso es ménos general que el de la media de las áreas.

16. **Método particular.**—Sucede con frecuencia que hay que dejar horizontal un terreno, bien para el establecimiento de un edificio, bien para la escavacion de sus cimientos, bien para dejar bajo el nivel del agua una profundidad constante donde no la haya, cuya operacion recibe el nombre de *dragado*; y sí, como tiene lugar muchas veces, el terreno está representado por curvas de nivel, el problema se reduce á hallar el volúmen comprendido por un plano horizontal, otros varios verticales y la superficie del terreno.

Supongamos que las curvas de nivel del terreno de que es trata sean las 1, 2, 3, 4, 5,..... (fig. 10): llamemos h la distancia vertical constante que separa unas de otras; el volúmen total que se busca se encuentra comprendido entre el plano horizontal que pasa por la curva 2, por ejemplo, los cuatro planos verticales mn, mq, qp y pn y la superficie del suelo. Este volúmen se compone de otros dos, uno el proyectado horizontalmente en $npbb_1$, que hay que desmontar, y otro que lo está en $mqbb_1$, que se terraplena si es necesario. Para obtener el primero rebatamos el plano vertical pq al rededor de su traza sobre el horizontal 2, y sea, trasportada, $p'q'$ esta traza y $a'b'c'd'$..... la seccion con la superficie del terreno: además dividamos este volúmen en otros parciales por medio de los planos hori-

zontales de las curvas, cuyas trazas en el rebatimiento son $b'b''$, $c'c''$,..... El volúmen comprendido por los dos planos horizontales $b''b'$ y $c''c'$ que se proyecta en bb_1np, se compone de un prisma rectangular cuya base es el área cc_1np, que llamaremos A', y la altura h; de modo que su valor será

$$A'h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (A.)$$

y de otra parte proyectada en bb_1cc_1.

Esta se puede descomponer en volúmenes muy pequeños trazando planos rs, tv, paralelos al pq y suficientemente próximos para poder considerar el espacio que comprenden como un prisma cuya base, proyectada en tv, es un triángulo análogo al $b'c'''c'$, suponiendo recto el lado $b'c'$, y cuya altura es la separacion de los planos rs, y tv, que llamaremos Δs. Este prisma tendrá por volúmen

$$^1/_2\ tv \times h \times \Delta s.$$

y si hacemos $tv=b$ y verificamos la suma de estos volúmenes elementales, resultará

$$^1/_2\ h \Sigma b \Delta s;$$

pero $\Sigma\, b\Delta s$ es el área bb_1cc_1, que podemos representar por $A-A'$, siendo A la correspondiente á bb_1np. Luego la expresion del volúmen proyectado en bb_1cc_1, será

$$^1/_2\ h\ (A-A') \ldots\ldots\ldots\ldots (B.)$$

Sumando ahora las dos expresiones (A) y (B) tendremos para el volúmen comprendido por los dos planos horizontales que pasan por las curvas 2 y 3 el valor

$$^1/_2\ h\ (A+A') \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Llamando A'' al área dd_1np y procediendo de la misma manera entre los planos que pasan por 3 y 4 resultaria para su volúmen

$$^1/_2\ h\ (A'+A'') \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

y así sucesivamente para todos los demás. De modo que representando por A^n la seccion del último plano horizontal, la fórmula general del desmonte será la suma de los valores (1), (2)... y tendrá por expresion

$$V_d = h \left(\frac{A + A^n}{2} + A' + A'' + \ldots + A^{n-1} \right) \ldots (3)$$

Una fórmula análoga daria el volúmen correspondiente á la parte en terraplen (a).

En los casos en que las curvas de nivel sean cerradas en la zona que se considera, segun se representa en la fig. 11, tendriamos que trazar dos séries de planos *rs*, *r's'* y *tv*, *t'v'* verticales y perpendiculares entre sí, que dividirian el volúmen en dos partes: una la no rayada, para la cual se podria hacer uso de la fórmula (3), y otra la rayada, en la que no es posible aplicarla, porque si trazamos desde la curva exterior de nivel un plano cualquiera paralelo á los *rs* ó *tv*, este cortará á las zonas no rayadas antes de llegar á la curva interior. En su consecuencia habremos de hallar directamente el volúmen de cada una de las zonas rayadas, para lo cual consideraremos la *abc*, por ejemplo, como una pirámide cuya base es el triángulo mistilíneo *abc*, y cuyo vértice está en *c*: llamando Ω la primera, su expresion será

$$\tfrac{1}{3}\, h\, \Omega$$

y si representamos por Ω', Ω'' y Ω''' las bases de las otras tres, tendremos para el volúmen de las cuatro el valor

$$V^1 = \tfrac{1}{3}\, h\, (\Omega + \Omega' + \Omega'' + \Omega''') \ldots (4)$$

El error que se cometiera aplicando la fórmula (3) seria por exceso é igual á

$$\tfrac{1}{6}\, h\, (\Omega + \Omega' + \Omega'' + \Omega''')$$

(a) Esta fórmula no es completamente exacta, puesto que hemos admitido que las intersecciones de los planos *rs*, *tv* con el terreno eran líneas rectas paralelas, lo que en general no se verifica. Pero el error que por esta causa se comete es tanto menor cuanto más se aproximan las curvas de nivel á ser rectas y paralelas, anulándose por completo cuando esto se verifica. Si por el contrario estas curvas son de mucha curvatura y cerradas, entonces no es aplicable la fórmula, como se prueba á continuacion en el texto.

CAPÍTULO II.

Determinacion de las áreas.

17. **Su objeto.**—Acabamos de ver que para hallar la cubicacion de tierras, lo mismo en las aplicaciones del método exacto, que empleando cualquiera de los expeditos, hay necesidad de conocer las áreas de los perfiles trasversales ó de secciones horizontales. Es preciso por lo tanto que examinemos ahora los principales procedimientos que se usan para hallar éstas en los dos casos que se presentan en la práctica; esto es, cuando los perfiles están dibujados y cuando no lo están.

ARTÍCULO I.

Medicion de las áreas cuando están dibujados los perfiles.

Muchos y variados son los procedimientos que se siguen en esta clase de mediciones, segun sea la forma que afecte el perímetro de la figura y el grado de exactitud que se desee en los resultados; pero todos pueden referirse á cuatro grupos principales que son: la medicion directa; la medicion por descomposicion en figuras geométricas; la que se obtiene por trasformacion del perímetro y la medicion por medio de los planímetros. Examinemos cada uno de estos procedimientos.

18. **Medicion directa.**—Si en el dibujo del perfil que se considera se traza una cuadrícula (fig. 12), fácilmente se ve que el área buscada es la suma de todos los cuadrados interiores al perímetro, más las partes interiores de los que están cortados por él, las cuales se miden á ojo. Cuando el papel en que se hace el dibujo está cuadriculado, se simplifican mucho las operaciones.

Tambien se emplea (fig. 13), un talco, cristal ú otra placa trasparente, en la cual se ha marcado la cuadrícula, la que sobrepuesta al dibujo, sirve del mismo modo para la medicion del área de que se trata.

Este procedimiento tiene el inconveniente de exigir bastante tiempo para sumar los cuadrados interiores, en cuya operacion es fácil equivocarse, y de tener que apreciar á ojo las partes de

los otros cuadrados, cortados por el perímetro, lo que puede ocasionar un error de consideracion.

Si se representa la escala del dibujo por $\frac{1}{a}$ y el área en milímetros cuadrados obtenida por el procedimiento anterior se llama b, tendremos que el área correspondiente en el terreno, expresada en milímetros, seria ba^2; y si se la quisiera tener en metros cuadrados bastaria dividirla por un millon.

19. **Medicion por descomposicion en figuras geométricas.** Cuando el área que se trata de medir se divide en figuras geométricas sencillas, como triángulos, trapecios, rectángulos, etc., (fig. 14) no hay más que hallar la correspondiente á cada una de éstas y su suma será la que se busca. Por este procedimiento se exige la medicion de muchas líneas y se necesita verificar varias operaciones aritméticas, lo que le hace pesado y expuesto á errores, por cuya razon se aplica raras veces.

Otra descomposicion se puede obtener trazando una série de verticales equidistantes ab, $a'b'$, (fig. 12) y considerar las zonas que resultan, ya como trapecios rectilíneos ó mistilíneos que tienen la misma altura bb', ya como triángulos, segun se ve en los extremos laterales. Si suponemos que los trapecios se toman como rectilíneos, que se miden aparte los triángulos, y se hace $ab=y'$, $a'b'=y''$ ..... $a^n b^n=y^n$, llamando h la distancia constante entre las verticales, tendremos para el área buscada

$$A=h\left(\frac{y'+y^n}{2}+y''+y'''+\ldots\ldots\ldots+y^{n-1}\right)\ldots\ldots\ldots(A)$$

Pero si por la irregularidad de la seccion en el terreno fuera conveniente suponer mistilíneos los trapecios, se dividiria la proyeccion de la curva sobre la recta mn en un número par de partes iguales, por las que pasarian las ordenadas y', y''.... y^n, y el área, dada por la fórmula de Simpson (a), seria

(a) Esta fórmula se obtiene hallando primero el área comprendida por dos ordenadas cualesquiera y' y''' (fig. 15), el eje de la x y la curva agb. Por el medio de ab tracemos la ordenada hk y sustituyamos á la curva dada el arco de parábola agb cuyo eje es gh, perpendicular á ab, la cual tiene tres puntos comunes con la curva dada. El área que se busca A se compone de la del trapecio $abcd=a$, más la del segmento parabólico $agb=a'$.

$$A = \frac{2}{3}h\left(\frac{y'+y^{n}}{2} + y'' + y''' + \ldots y^{n-1} + y'' + y^{iv} \ldots + y^{n-1}\right) \ldots (B)$$

Si para mayor sencillez suponemos que *h* es igual á 1,5 milímetros, la expresion anterior se reduce al paréntesis, que dará en milímetros cuadrados el área que se busca.

En las dos fórmulas anteriores, aunque se tenga conocida *h*, hay que medir las ordenadas y', y''..... y para esto se hace uso de una regla graduada ó doble decímetro unas veces, y otras de un aparato llamado ruleta de Dupuit. Esta consta (fig. 16) de un disco graduado *ab*, cuyo perímetro está dividido en cien partes, teniendo cada uno de ordinario un milímetro; en el eje de este disco va montado un piñon que engrana con la rueda *cd*, cuyo rádio es 10 veces el de aquel, la cual se vé dividi-

---

La primera está dada por la expresion

$$a = h\ (y' + y''') \ldots\ldots (1)$$

siendo $h = ck = kd$. La segunda tiene por valor

$$a' = \frac{2}{3}\ ab \times gh;$$

pero *ab*, en el triángulo rectángulo *abl*, es igual á $\frac{2h}{\cos.\ \alpha}$; y *gh* en el *ght* que puede suponerse rectángulo en *g*, será igual á

$$th.\ \cos.\ \alpha = \left(y'' - \frac{y'+y'''}{2}\right)\cos\ \alpha$$

luego

$$a' = \frac{2}{3}\ h\ (2\ y'' - y' - y''\ ) \ldots\ldots (2)$$

Sumando los valores de a y a', resulta

$$A = \frac{2}{3}h\left(\frac{y'}{2} + 2\ y'' + \frac{y'''}{2}\right)$$

Suponiendo que hubiere otra zona contigua del mismo ancho, su área estaria representada por

$$A' = \frac{2}{3}\ h\left(\frac{y'''}{2} + 2y^{\ iv} + \frac{y^{v}}{2}\right)$$

y así de las demás hasta la última, cuyo valor seria

$$A_1 = \frac{2}{3}h\left(\frac{y^{\ n-2}}{2} + 2y^{n-1} + \frac{y^{n}}{2}\right)$$

La suma de estos valores daria para el área total, comprendida entre la curva, las dos ordenadas límites y el eje de las *x*, la fórmula puesta en el texto, que suele escribirse así

$$A = \frac{2}{3}\ h\ \left\{\frac{1}{2}\ (y' + y^{n}) + (y'' + y''' + \ldots + y^{n-1}) + (y'' + y^{iv} + \ldots y^{n-1})\right\}$$

da en 10 partes iguales; de modo, que por cada vuelta que dé el disco, la rueda *cd* girará una division y puede por consiguiente servir de contador de aquel. Hay además dos índices *f*, *g*, fijos al bastidor ó mango en que van montadas las ruedas, y sirven, el primero para marcar el número de divisiones que han pasado del disco, y el segundo el número de vueltas que el mismo ha dado.

Para medir con este aparato la longitud de una recta dada, se pone en contacto con uno de sus extremos el punto del disco que marca el índice y manteniendo el mango perpendicular á la superficie en que la recta está trazada, se verifica la lectura correspondiente á los índices. En seguida se hace rodar el disco sobre la recta hasta llegar al otro extremo, conservando el mango una posicion paralela á la primitiva, y se lee de nuevo la graduacion: la diferencia entre ambas lecturas dará en milímetros la longitud de la recta.

Moviendo la ruleta en el mismo sentido se puede tener, no solo la longitud de cada recta, sino la suma de dos ó más, cuando solo haga falta dicha suma. Así, por ejemplo, aplicando la ruleta para hallar el valor de la expresion (*A*) anterior, supuesto conocida *h*, correremos el aparato á lo largo de las ordenadas y' é y^n y la diferencia entre la lectura prévia y la final dará su suma; haciendo despues lo mismo con las restantes ordenadas, la diferencia entre la segunda y última lectura expresará tambien su suma. Si se la aplica á la expresion (*B*) se tendrá que comenzar por recorrer las ordenadas extremas y la diferencia de las dos primeras lecturas dará su suma $y' + y^n$; despues se recorren todas las intermedias, y por último todas las que ocupan lugar par.

Es conveniente el empleo de la ruleta cuando se tiene costumbre de manejarla; pero en caso contrario, no tan solo no abrevia las operaciones, sino que puede ocasionar errores de consideracion.

20. **Medicion por traformacion del perímetro.**—Cuando las desigualdades del terreno en el perfil trasversal no son grandes, se puede trazar una recta *R S* (fig. 17) tal que el área de la seccion *ABabcdR* sea igual á la del trapecio *ABSR*, para lo cual basta tender un hilo de modo que á la simple vista se compense la parte aumentada con la disminuida. Este medio,

que cuando se ha adquirido alguna práctica dá resultados bastante exactos, no es sin embargo aplicable cuando el perfil presenta grandes desigualdades; pero aun entonces se puede determinar *RS* en pocos segundos con toda la exactitud deseable.

A fin de conseguirlo, trácese la recta que une los puntos *c* y *a* y por *b* una paralela *bm* y el triángulo *cmb* equivalente al *mba* podrá reemplazarle; uniendo despues los puntos *d* y *m* y tirando por *c* la paralela *cn* tendremos que el triángulo *dmn* puede reemplazar al *dcm*, y continuando del mismo modo se obtendrá la recta buscada *RS*. Pero en muchos casos es conveniente, como veremos más adelante, trasformar la seccion *ABSR* en otra, en la que *RS*. sea horizontal ó paralela á *AB*, y esto puede alcanzarse prolongando los taludes hasta su mútuo encuentro en *O* (fig. 18) y trazando sobre *OS* como diámetro el semicírculo *ODS*: hecho esto, se hace pasar por *R* la recta *RC* paralela á *AB* y levantando la *CD* perpendicular á *OS* y describiendo con el rádio *OD* el arco *DE*, la recta *EF* paralela á *AB* será la línea buscada, es decir, que el área *ABEF* será igual á la *ABSR* (a). Esta misma construccion es tambien aplicable á los terraplenes.

Este procedimiento se emplea con frecuencia en la cubicacion de tierras de las vías, y proporciona la exactitud necesaria en los resultados, los cuales se obtienen con bastante rapidez cuando se ha adquirido la suficiente práctica.

21. **Medicion con los planímetros.**—Este sistema, que es de un uso muy frecuente en las aplicaciones y se generaliza más cada dia, consiste en el empleo de los aparatos llamados *planí-*

(a) En efecto, por la construccion se tiene

$$\overline{OE}^2 = OC \times OS; \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

por otra parte, el área del triángulo *OSR* valdrá

$$\tfrac{1}{2} OS \times OR \cos.\gamma \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Siendo γ el ángulo formado por el talud *RO* con la perpendicular á *OS*. Del mismo modo la del triángulo *OEF*, valdrá.

$$\tfrac{1}{2} OE \times OF \cos.\gamma \ldots (3)$$

pero las expresiones (2) y (3) se pueden poner en la forma $\frac{1}{2}\, OS \times OC \cos.\gamma$ y $\frac{1}{2}\, \overline{OE}^2 \cos.\gamma$, luego en virtud de la (1) las dos áreas son equivalentes y continuarán siéndolo aunque se le reste el triángulo *AOB*.

Cuando la construccion está bien hecha, las rectas que unen los puntos *FS* y *RE* deberán ser paralelas.

metros, los cuales señalan desde luego el área cuando un puntero ha recorrido el contorno de la superficie que trata de medirse, cualquiera que sea la forma de dicho contorno. Entre los diversos instrumentos que se han adoptado con este objeto nos limitaremos aquí á describir y explicar la teoría de los que dan mejores resultados.

22. **Planímetro de Wetli y Starke.**—Este aparato, que mide áreas rectangulares, consta de dos partes distintas; una fija, en la que hay un eje horizontal que gira, y otra que tiene movimiento de traslacion y lleva además un eje vertical que gira tambien. La parte fija está compuesta de un limbo vertical, graduado como veremos despues, *cd*, *c'd'* (fig. 19) y un bastidor *mnpq*, *m'n'* sujeto al limbo por medio de los tornillos *tt'*. Apoyándose en el centro del limbo y en el lado *pq* del bastidor está el eje de giro horizontal, al que va invariablemente unida por un extremo la aguja *rr*, *r'r'*, que señala en el limbo las áreas medidas, y por el otro el disco vertical *ef*, *e'f'*, que se apoya en la parte móvil del instrumento.

Esta parte consiste en un platillo horizontal de cristal *gh*, *g'h'* cubierto con papel de grano, por cuyo centro pasa inferiormente el eje vertical *s*, *s's'* que se mueve como ahora veremos y que está sostenido por el trípode *zz'z''*: este tiene en sus piés ruedecillas que recorren tres carriles *vvv* invariablemente unidos á la parte fija del aparato y cuya direccion es exactamente perpendicular al plano del limbo, dándose á mano este movimiento del trípode. El giro del eje *s*, *s's'* se obtienen por medio de una regla *ab*, *a'b'* que lleva al lado un hilo de platino, el cual parte del extremo *a*, dá despues una vuelta al tamborcillo *x* montado invariablemente en el eje *s*, *s's'* y termina en el otro extremo de la regla por medio de un tornillo de tension: para que la regla se conserve siempre paralela al plano del limbo hay en el trípode cuatro rodillos *yy* entre los cuales puede deslizar. Por último, esta regla lleva en su extremo *a* un punzon que recorre el perímetro del área que se quiere medir y en el limbo hay un contador dispuesto del mismo modo que vimos al tratar de la ruleta de Dupuit.

El manejo de este aparato es sumamente sencillo. Para esto se empieza por colocar las agujas del limbo y del contador en sus ceros respectivos, ó bien, y es lo más frecuente, se leen las

divisiones que marcan antes de comenzar la operacion. Apoyándose las ruedecillas del trípode sobre los carriles y el disco sobre el platillo, se lleva el punzon á un punto del perímetro del área que se trata de medir: en este estado, y hecha la lectura correspondiente, se mueve á mano el punzon ó puntero, de modo que recorra todo el perímetro del área, y al volver al punto de partida se hace otra lectura, siendo la diferencia entre ambas el valor del área medida.

En efecto, supongamos que la fig. 20 representa la proyeccion horizontal del aparato en su parte esencial, siendo *ef* el disco, *gh* el círculo del platillo, *ab* el hilo de platino arrollado al tambor, y *ast* el área que se vá á medir. Tomemos por ejes coordenados el *ox* en el plano del disco y el *oy* que pasa por el punto de contacto de éste con el platillo y por el centro del tambor.

Cuando el punzon recorre un elemento *an* de la curva, su componente paralela al eje de la x, será $np=dx$, llamando x é y las coordenadas del punto a, y la paralela al de las y será $ap=dy$. Esta segunda no produce ningun movimiento en la aguja del aparato, porque moviendo el platillo en la direccion *oy* no por esto girará el disco; pero la primera sí le ocasionará, y si representamos por r el rádio del tambor y por R el del disco, tendremos que al moverse la regla en la direccion *ab* el hilo hará girar al tambor con el eje vertical, el cual describirá una cantidad angular medida por $\frac{dx}{r}$. Como al eje va unido el platillo, este describirá la misma cantidad angular, y por lo tanto, el punto de contacto o con el disco describirá un arco igual al producto del ángulo por el rádio, ó bien

$$(y-r)\,\frac{dx}{r};$$

pero en virtud de la rodadura entre el platillo y el disco, el punto de contacto de éste habrá recorrido un espacio igual al anterior; luego el valor angular en el disco, que llamaremos $d\alpha$, tendrá por expresion

$$d\alpha=(y-r)\,\frac{dx}{rR}$$

y este mismo ángulo será el que marque la aguja en el limbo.

Cuando el puntero vuelva á la posicion primitiva, despues de recorrer el perímetro, la graduacion recorrida por la aguja estará representada por la integral de la ecuacion anterior y será

$$\alpha = \int (y - r) \frac{dx}{R\,r} = \frac{1}{R\,r}\left(\int y\,d\,x - r \int d\,x\right) \ldots (1)$$

tomándola entre los límites correspondientes de x. Ahora bien, la integral $\int d\,x$, cuando se toma entre dos valores iguales de x, sabemos que es nula; y si llamamos S á la $\int y\,d\,x$, que representa el área comprendida en el perímetro recorrido (a), se tiene

$$S = R\,r\,\alpha \ldots (2)$$

De modo que el área medida se obtiene multiplicando el producto de los rádios del tambor y el disco por la longitud del arco que en la circunferencia de rádio unidad señala la aguja del limbo. Y como en cada instrumento se conocen los dos radios antedichos, bastará poner en las divisiones del limbo, en vez de grados y minutos, los milímetros cuadrados, por ejemplo, que resulten de la fórmula (2) cuando se dé á α distintos valores y R y r se hayan medido en milímetros.

Generalmente el limbo en que están marcadas las áreas solo se encuentra graduado en estos instrumentos en la mitad superior y los dos extremos de la aguja sirven para señalar el área medida. Esta mitad suele contener 100 divisiones, cada una de las que corresponde á $^1/_{10}$ de milímetro cuadrado, marcándose con líneas más largas los grupos de 10; y por cada vez que un

(a) Para probar esto, bastará recordar que, representando las flechas (fig. 21) el séntido del movimiento del puntero, se tiene

$$\int_{oa'}^{ob'} y\,d\,x$$

para valor del área limitada por $a'a\,m\,b\,b'$; y la

$$\int_{ob'}^{oa'} y\,d\,x$$

representa la correspondiente á $b'b\,n\,a\,a'$, con el signo —; luego la difeencia es el área buscada.

extremo de la aguja recorre las 100 divisiones pasa una la aguja del contador; así es que éste señala centenas de milímetro cuadrado, ó sean centímetros cuadrados. La lectura de las áreas en centímetros ó milímetros cuadrados no presenta por consecuencia ninguna dificultad en este instrumento, con el que, por otra parte se tiene la ventaja de poder repetir las mediciones y comprobar los resultados.

Se comprueba este instrumento, así como los demás planímetros, midiendo áreas conocidas, y si se obtienen sin error se puede desde luego emplear el aparato; pero si le hubiera, será preciso, ó tenerle en cuenta en las mediciones, ó mejor corregir el instrumento, como se hace con los de topografía. La causa más frecuente de error es la oblicuidad del eje horizontal respecto al plano del limbo y para verificar esta correccion se aprietan convenientemente los tornillos *t* y *t'*.

Este instrumento, aunque sencillo en su disposicion y de fácil manejo, tiene sin embargo el inconveniente de ser voluminoso y pesado, costando seis ú ocho veces más que el que vamos á describir.

23. **Planímetro de Amsler.**—Este es un aparato que mide áreas polares y en el que se puede cambiar la graduacion segun la escala en que esté el dibujo.

La figura 22 representa en proyeccion horizontal y vertical el instrumento, que consta de una regla prismática *aa*, *a'a'*, la cual lleva en uno de sus extremos un punzon ó estilo *cc'* y en el otro una rueda graduada *rr*, *r'r'*, cuyo eje, paralelo á la regla, se sostiene en una armadura fija á esta: dicho eje está fileteado en una parte de su longitud y en conexion con un piñon unido al eje vertical *s*, *s's'* que lleva en su parte superior la rueda *tt'*. Esta hace las veces de contador; puesto que el paso del filete y el rádio del piñon están en una relacion tal, que cuando el primero da 10 vueltas el segundo solo da una. Además existe un nonius *nn'*, junto á la rueda *rr*, la cual tiene su perímetro dividido en 100 partes iguales. Por otra parte, hay una varilla *dd*, *d'd'* que por un extremo tiene una punta para fijarla en un cierto punto del dibujo, la que se sobrecarga con un peso, á fin de que no pueda moverse, y por el otro se une, aunque indirectamente, con la regla *aa'*. Esta union articulada tiene lugar por medio de la armadura antedicha, la que lleva

un eje vertical *m*, *m'* en el que entra el ojo en que termina la varilla: la armadura puede correr á lo largo de la regla y se la fija en el punto conveniente por medio de un tornillo de presion. A la distancia que hay entre el punto de articulacion *m* y el punzon *c* se da el nombre de *brazo del planímetro.*

Se usa este aparato fijando en un punto dado, que se llama *polo*, el extremo con punta de la varilla; despues se lleva el estilo á un punto cualquiera del perímetro y en este estado se leen las divisiones del contador, rueda y nonius. Hecho esto, se recorre todo el perímetro apoyándose constantemente el aparato en el polo, el estilo y la rueda *rr*, y cuando el segundo vuelve l unto de partida se verifica otra lectura, siendo la diferencia entre ambas la medida del área buscada.

Para probarlo supondremos el aparato reducido á sus ejes y proyectado horizontalmente en *ar*, *bp* (fig. 23), siendo *p* el polo, y admitamos que $aa''a'$ sea el perímetro del área que se quiere medir. Si consideramos una segunda posicion $a'r'$ muy próxima á la primera, sucederá que el extremo de la varilla habrá descrito una parte de la circunferencia bb' cuyo centro es el polo, y que el ángulo formado por la varilla y el brazo del planímetro habrá cambiado: el problema queda reducido á determinar el área comprendida entre estas dos posiciones muy próximas del brazo del planímetro, la curva dada aa' y el círculo bb'.

El movimiento del planímetro entre estas dos posiciones se puede suponer descompuesto en dos, uno trasladándose paralelamente á sí mismo y pasando de la posicion *ar* á la $a''r''$, y el otro girando al rededor del punto b' hasta tomar la direccion $a'r'$; de modo que si llamamos ΔA el área en cuestion y ω y ω' las del trapecio mistilíneo $aba''b'$ y del sector $a'b'a''$, se tiene

$$\Delta A = \omega + \omega' \ldots\ldots (1)$$

Si llamamos Δh la distancia entre los lados $a\,b$ y $a''\,b'$ del trapecio y l la longitud ab del brazo del planímetro, se tendrá

$$\omega = l\,\Delta h$$

con un error que se puede despreciar cuando Δh es infinitamente pequeño. Análogamente, llamando Δx el ángulo $a'b'a''$, el área del sector será

$$\omega' = {}^1/_2\, l \times \text{arco } a''\, a' = {}^1/_2\, l^2\, \Delta x$$

con un error que tambien se anula cuando la variable es infinitamente pequeña, y por lo tanto se tiene

$$\Delta A = l \Delta h + {}^1/_2 l^2 \Delta x \ldots\ldots (2)$$

Veamos ahora como el planímetro puede señalar esta área. Al pasar de la posicion primitiva á la intermedia $a''r''$, la rueda ha pasado de r á r'' recorriendo una línea paralela á la bb', y este camino se puede descomponer mecánica y geométricamente en dos; uno el rc, paralelo al plano de la rueda, y otro el cr'', perpendicular. Por el primero la rueda recorre rodando la longitud rc, y por el segundo no hará más que deslizar entre c y r''.

Al pasar el aparato de la posicion intermedia á la definitiva $a'r'$, el punto de contacto de la rueda describirá un arco

$$r''r' = l'\Delta x,$$

siendo $l' = b'r' = br$, y su proyeccion cc' sobre la cr se puede considerar igual al arco cuando Δx es infinitamente pequeño.

Por lo expuesto vemos que la rueda gira primero de izquierda á derecha entre r y c y despues lo hace de derecha á izquierda entre c y c'; de manera que lo que en definitiva ha recorrido y lo que aparecerá en su graduacion será un arco igual á rc', que llamándole Δm, resulta

$$\Delta m = rc - cc' = \Delta h - l'\Delta x$$

de donde

$$\Delta h = \Delta m + l'\Delta x$$

que sustituido en la ecuacion (2), dará

$$\Delta A = l \Delta m + (ll' + {}^1/_2 l^2) \Delta x$$

y si las dos posiciones del planímetro están infinitamente próximas tendremos para el área elemental

$$d A = l\, d m + (ll' \mp {}^1/_2 l^2)\, d x \ldots\ldots (3)$$

Integrando esta expresion y observando que $\int dm$ tomada entre los dos límites correspondientes no es más que el arco total, ó lo que es lo mismo, el número de divisiones que en la rueda han pasado desde la posicion primitiva á la final, si además llamamos x_0 y x_1 los ángulos que forma en las posiciones límites el brazo del planímetro con una direccion dada, tal como la ab, en cuyo caso se tendrá

$$\int_{x_0}^{x_1} dx = x_1 - x_0$$

resultará por último

$$A = l\,m + (ll' + {}^1/_2\, l^2)\,(x_1 - x_0) \ldots\ldots (4)$$

Fórmula general que da el área comprendida entre dos posiciones cualesquiera del brazo del planímetro, la curva dada y el círculo *bb'*.

En las aplicaciones hay que distinguir dos casos: Primero, cuando el polo se encuentra exterior á la curva *aa''a'*..... y segundo, cuando está interior. En el primero (fig. 24), el brazo del planímetro parte de una posicion y despues de moverse en un sentido retrocede hasta volver á la posicion primitiva; así, pues, no hace más que oscilar, de manera que el valor angular entre las posiciones extremas será nulo; es decir, $x_1 - x_0 = 0$, luego la ecuacion (4) se convierte en

$$A = l\,m \ldots\ldots (5)$$

En el segundo caso (fig. 23) el brazo del planímetro no retrocede, sino que constantemente va tomando *x*, valores cada vez mayores, y al volver al punto de partida habrá recorrido 360°, por lo tanto $x_1 - x_0 = 2\pi$ y la ecuacion (4) se convierte en

$$A = l\,m + (ll' + {}^1/_2\, l^2)\; 2\,\pi$$

pero en tal caso hay que añadir al área medida la del círculo *bb'*... cuyo rádio es *r*; luego la expresion final del área buscada, será

$$A = l\,m + (l^2 + 2\,ll' + r^2)\pi \ldots (6)$$

El exámen de las fórmulas (5) y (6) hace ver que es preferible situar el polo fuera del área que se va á medir, puesto que el resultado se obtiene por una expresion mucho más sencilla que cuando está dentro.

Digimos al principio de este número que podia variarse la graduacion de este instrumento con arreglo á la escala en que estuviera el dibujo: veamos ahora cómo se verifica ésto. Si llamamos *R* al rádio de la rueda, *n* el número de sus divisiones y *m* la longitud correspondiente á una, se tendrá

$$m = \frac{2\,\pi\,R}{n}$$

y el área A_1, correspondiente á una division, será en virtud de la fórmula (5)

$$A_1 = \frac{2\,\pi \cdot Rl}{n}$$

área que se puede tomar por unidad de las que se quieren medir, y que segun los casos convendrá que represente un milímetro, centímetro, ó cualquiera otra unidad cuadrada. Despejando l tendremos la longitud que en cada caso debe tener el brazo del planímetro, que será

$$l = \frac{n}{2\,\pi\,R}\,A_1$$

luego no habrá más que marcar en la regla del instrumento los diversos valores de l que corresponden á los que se den á A_1. Como la distancia l entre el puntero y el punto de articulacion no coincide con el extremo de la armadura, que es lo que sirve de línea de fé para las lecturas en la regla, sino que de ordinario dista de dicho extremo una cierta longitud, hay que correr en esta longitud todas las divisiones de la regla hácia el puntero.

Si el polo estuviera en el interior del área que se mide, habria que añadir segun la fórmula (6) $(l^2+2ll'+r^2)\,\pi$ al valor marcado por el planímetro, aumento que ya está calculado y marcado en la regla para cada valor de l. Sin embargo, en muchos casos conviene conocer este aumento en funcion del área unidad A_1 y se le obtiene fácilmente por la relacion

$$\frac{x}{1} = \frac{(l^2+2\,ll'+r^2)\,\pi}{A_1} = \frac{(l^2+2\,ll'+r^2)\,\pi}{2\,\pi\,Rl}\,n;$$

de donde

$$x = \frac{(l^2+2\,ll'+r^2)\,n}{2\,Rl}$$

valor que se puede marcar en el instrumento para cada uno de los de l.

Este planímetro, que como el anterior puede repetir la medida de las áreas, presenta tambien la misma causa de error; esto es, que el plano de la rueda no sea normal al eje de la regla. Se comprueba que tiene la posicion debida, cuando el puntero recorre una circunferencia cuyo rádio es $\sqrt{l^2+2\,ll'+r^2}$ y el polo está en su centro, en cuyo caso la rueda deberá resbalar constantemente sin girar nada.

En efecto, si el plano de la rueda suficientemente prolon-

gado pasa por el centro *c* (fig. 25) se verificará en el triángulo rectángulo *car* que

$$\overline{ac}^2 = \overline{cr}^2 + \overline{ra}^2 = \overline{cr}^2 + (rb + ba)^2;$$

pero en el triángulo *bcr* se tiene $\overline{cr}^2 = \overline{cb}^2 - \overline{br}^2$; luego

$$\overline{ac}^2 = \overline{cb}^2 + 2\, br \times ba + \overline{ba}^2 = r^2 + 2\, ll' + l^2$$

lo que nos dice que cuando el plano de la rueda pasa por el centro *c* del círculo *ad*, la magnitud *ac* permanece constante, *cr* es perpendicular á *ra* en la posicion inicial y continuará siéndolo en todas las demás. Por consiguiente, el punto de contacto *r* de la rueda se moverá tangencialmente á la circunferencia que describe, sin que ella pueda girar, puesto que el movimiento es perpendicular á su plano.

Al hacer uso de este planímetro conviene tomar varias precauciones y son: primera, que el papel del dibujo presente granos ó asperezas para que la rueda no resbale cuando deba rodar; segunda, que el canto de la armadura coincida con la division correspondiente de la regla; tercera, que el ángulo que formen la regla y la varilla no sea ni muy agudo ni muy obtuso, á fin de que el instrumento se halle en las mejores condiciones de estabilidad y no tenga tendencia á inclinarse á un lado ni á otro; cuarta, que el polo se sitúe siempre que se pueda exteriormente al área que se mide, y quinta, que se repita la medicion cuando se quiera mucha exactitud en el resultado.

24. **Planímetro de Duprez.**—Es solo una modificacion del que se acaba de describir, y consta, segun se ve en dos proyecciones en la fig. 26, lám. 2., suponiéndole reducido á sus ejes, de una regla *ac*, *a'c'*, en la que un punto fijo *b* recorre otra que se toma por eje de las *x*, y que además lleva en el extremo *c* un punzon y en *a* una rueda *rr*, *r'r'* cuyo plano se puede fijar formando un ángulo dado con la regla *ac*. Tiene la rueda, á más de su graduacion, el contador y nonius, como en el planímetro de Amsler.

Considerando dos posiciones consecutivas del planímetro como la *ac* y la a_1c_1 (a) el punto de contacto *a* habrá venido á parar al a_1 cuando el puntero haya recorrido el elemento cc_1;

(a) No aparece en la figura la rueda más que en la primera posicion, con el fin de no confundir el dibujo.

pero éste se puede descomponer en otros dos paralelos á los ejes coordenados, y el punto c_1 se hubiera obtenido igualmente haciendo recorrer al puntero primero el elemento cq y despues el qc_1. La cantidad que habrá girado la rueda mientras el puntero se ha movido desde c hasta q se verá anulada cuando despues se mueva desde n hasta d, porque dado el sentido del movimiento, será en la segunda parte inverso de la primera, y como en los puntos q y n, c y d y en los intermedios la regla se mantiene respectivamente paralela, el movimiento ocasionado en la rueda será igual y de signo contrario, esto es, nulo. Otro tanto pasará en todas las demás componentes elementales paralelas á Oy, de suerte que solo quedan las que lo son al eje Ox (a) En virtud de esto, se tendrá que mientras el puntero recorre qc_1 la regla se habrá movido paralelamente á sí misma y el punto de contacto habrá marchado de a_2 á a_1, segun una recta igual y paralela á qc_1. Descomponiendo la recta a_2a_1 paralela y normalmente al plano de la rueda, la última componente no la hará girar; pero la primera sí, y su valor será

$$dm = dx. \text{ sen. } \varepsilon \ldots\ldots (1)$$

Siendo ε el ángulo que forma el eje af de la rueda con el de las x.

Integrando esta expresion tendremos para la longitud total que ha rodado la rueda cuando el puntero ha recorrido todo el contorno,

$$m = \int dx. \text{ sen. } \varepsilon \ldots\ldots (2)$$

Esta expresion sirve en las aplicaciones para determinar m siempre que se conozca el ángulo ε, ó lo que es lo mismo, siempre que se conozca el ángulo entre el plano de la rueda y la regla ac. Si llamamos α el ángulo que la regla forma con el eje de las x y suponemos que $\varepsilon = \alpha$, esto es, que el eje de la rueda es paralelo al de la regla, como sucede en el planímetro de Amsler, se tendrá, representando por l la distancia ab,

---

(a) Estas no pueden anularse, porque si consideramos la zona $ntmp$, en la que nt y mp sean iguales y paralelas al eje Ox, al recorrer el puntero la recta nt la rueda girará una cantidad muy distinta que cuando recorra la mp, á causa de la diversa oblicuidad que en cada caso tiene la regla abc.

$$\text{sen. } \beta = \text{sen. } \alpha = \frac{cs}{cb} = \frac{y}{l}$$

y si suponemos l igual á la unidad, y sustituimos este valor en la ecuacion (2) sale

$$m = \int y\, dx$$

fórmula que, como se vió en el número 22, representa el área comprendida en la curva cc_1tdp.

Haciendo $\beta = 2\alpha - \frac{\pi}{2}$ y sustituyendo en la misma ecuacion se tiene

$$m = \int \text{sen.} \left(2\alpha - \frac{\pi}{2}\right) dx = -\int \cos. 2\alpha\, dx = -\int (1 - 2\,\text{sen.}^2 \alpha)\, dx;$$

pero como asimismo es ahora, sen. $\alpha = \frac{y}{l}$, resultará

$$m = -\int dx + \frac{2}{l^2} \int y^2\, dx = \frac{2}{l^2} \int y^2\, dx$$

por ser $\int dx = o$, segun se vió tambien en el mismo número. De aquí deducimos

$$\int y^2\, dx = \frac{l^2}{2} m$$

lo que nos dice que esta integral varía proporcionalmente con el arco m y que con una sola lectura en el instrumento puede determinarse el valor de aquella.

Coloquemos por último la rueda de modo que $\beta = 3\alpha$, y tendremos

$$m = \int \text{sen. } 3\alpha\, dx$$

pero como sen. $3\alpha = 3$ sen. $\alpha - 4$ sen.$^3 \alpha$, resultará

$$m = \int (3\,\text{sen. } \alpha - 4\,\text{sen.}^3 \alpha)\, dx = \frac{3}{l} \int y\, dx - \frac{4}{l^3} \int y^3\, dx$$

de donde

$$\int y^3\, dx = \tfrac{3}{4}\, l^2 \int y\, dx - \frac{l^3}{4} m$$

y como sabemos hallar $\int y\,dx$, que podemos llamar A, resulta

$$\int y^3\,dx = \tfrac{3}{4}\, l^2 A - \frac{l^3}{4} m$$

es decir, que $\int y^3\,dx$ es funcion lineal de m y se puede determinar con una sola lectura de dicho arco, cuando se conocen las constantes $\tfrac{3}{4}\, l^2 A$ y $\frac{l^3}{4}$

Dando nuevos valores á β podrian determinarse las integrales de y^4dx, y^5dx... $y^m dx$, puesto que haciendo $\beta = m\alpha$, se puede tener $sen.\,\beta = sen.\,m\alpha$ en potencias de $sen.\,\alpha = \frac{y}{l}$. Por lo tanto, tendremos un término $\int y^m dx$ en funcion de otras integrales correspondientes á menores valores del exponente; y como estas se expresan en funcion lineal del arco m, asimismo se expresará la propuesta.

Vemos por lo expuesto que con este planímetro se puede obtener el valor de las integrales de ydx, y^2dx, y^3dx... y por lo tanto es de un útil empleo en muchas aplicaciones, puesto que no tan solo mide áreas, como el de Amsler, toda vez que estas tienen por valor la expresion $\int ydx$, sino que tambien da la ordenada del centro de gravedad de cualquier figura plana, en atencion á que esta ordenada se expresa por $\dfrac{\tfrac{1}{2}\int y^2dx}{\int ydx}$ y por último, pueden calcularse por su medio momentos de inercia, pues que estos dependen de la integral $\int y^3dx$.

ARTICULO II.

Medicion de las áreas cuando no están dibujados los perfiles.

25. **Su objeto.**—Por grande que sea la facilidad con que se puedan medir las áreas de los perfiles trasversales, segun acabamos de ver, sucede sin embargo que cuando se tiene que aplicar á una vía de comunicacion de bastante longitud resulta este procedimiento largo y pesado, razon por la que se ha sustituido con otros que evitan el dibujo de los perfiles y dan los resultados con suficiente exactitud.

Con este fin se han formado tablas numéricas y cuadros gráficos, de cuya construccion y uso nos vamos á ocupar.

26. **Tablas numéricas.**—Aun cuando se han construido varias tablas de este género, solo describiremos las adoptadas por la administracion francesa para las vías de comunicacion, en las cuales se supone que el ancho de la explanacion es constante, que tambien lo es la inclinacion de los taludes, y que por último la inclinacion del terreno trasversalmente á la vía, á partir del eje, es asímismo constante en la zona que se considera; de suerte que cada perfil trasversal se supone formado á uno y otro lado de la cota roja por un cuadrilátero *apqc* (fig. 27) en que *ac* es la cota roja, *ap* el semiancho de la explanacion, que deja por debajo un área constante y conocida, como es la de la cuneta, y de la que por el pronto se puede prescindir añadiéndola despues al área buscada, *pq* es el talud del desmonte y *qc* la inclinacion del terreno (a).

Para deducir las fórmulas que en la formacion de estas tablas se emplean, hagamos $ac=y$; $ap=l$; $tg\alpha=x$, y $tg\,\beta=t$, El área buscada *apqc* se tendrá prolongando las rectas *qp* y *ca* hasta su mútuo encuentro, y hallando la diferencia entre las de los triángulos *cbq* y *bap*: llamándolas respectivamente A, A' y A'' se tiene

$$A=A'-A''...(1)$$

pero

$$A'={}^1/_2\ cb\times lq={}^1/_2\ (y+lt)\ lq$$

y como en el triángulo rectángulo *lqc* se verifica

$$lq=\frac{lc}{tg.\alpha}=\frac{bl-bc}{x}$$

(a) Esta última inclinacion se determina en la práctica colocando la mira primero en el eje y despues en un punto á cada lado del perfil trasversal que diste del primero 10^m: hallando la diferencia de altura entre el primer punto y uno de los segundos y dividiéndola por 10, ó lo que es lo mismo, corriendo la coma un lugar á la izquierda, se obtiene sin cálculo la pendiente de la línea que por aquel lado reemplaza al terreno. Sin embargo, debe advertirse que en los puntos situados á 10^m del eje no debe haber ninguna depresion ó elevacion accidental, sinó que por el contrario, deberá el terreno presentar desde el eje una inclinacion constante en direccion trasversal, pues de no ser así se originarian errores de mucha consideracion.

é igualmente se tiene en el *bql* que

$$bl = lq \times t$$

resulta, siendo $bc = y + lt$, como acabamos de ver, que

$$lq = \frac{lq \times t - (y + lt)}{x}$$

de donde

$$lq = \frac{y + lt}{t - x};$$

luego

$$A' = {}^1/_2 \, \frac{(y + lt)^2}{t - x}$$

Por otra parte se tiene que

$$A'' = {}^1/_2 \, pa \times ba = {}^1/_2 \, l^2 t$$

de modo que sustituyendo estos valores en la ecuacion (1), resultará

$$A = {}^1/_2 \, \frac{(y + lt)^2}{t - x} - {}^1/_2 \, l^2 t \ldots (2)$$

Esto nos dice que el área *A* está dada en funcion de las variables *x* é *y*; así es que representando aquella por *z*, su expresion será de la forma

$$z = f\,(x, y)$$

con la cual se puede formar una tabla dando á *x* é *y* diferentes grupos de valores y hallando los correspondientes de *z*. En esta tabla se suponen constantes los valores de *l*, *t* y la cuneta *c*, y se escriben en la primera columna los valores de *y*, en el primer renglon los de *x*, y en la parte central los de *z* que corresponden al de *y* del mismo renglon y al de *x* de la misma columna, segun aparece en el adjunto ejemplo:

l=.... t=.... c=....						
Valores de *y*.	Valores de *z* para los correspondientes á los de *x*.					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
y_1	A_1	A_1'	A_1''	A_1'''	»	»
y_2	A_2	A_2'	A_2''	A_2'''	»	»
y_3	A_3	A_3'	A_3''	A_3'''	»	»
»	»	»	»	»	»	»

Pero la fórmula (2) se ha deducido en el supuesto de estar en desmonte la cota roja *ac* y en *rampa* ó subiendo el terreno desde el eje, y se comprende fácilmente que será preciso modificarla en los diferentes casos que se presentan en la práctica, los cuales se reducen á cuatro que vamos á examinar.

El primero, en el que la cota roja está en desmonte y el terreno en rampa, es justamente el que nos ha servido para deducir la fórmula (2) y se ve representado en la fig. 27.

El segundo tiene la cota roja en desmonte y el terreno en *pendiente* ó bajando (fig. 28), y se subdivide en otros dos distintos, segun que la línea del terreno pase por encima de *m*, ó por debajo. En el primer supuesto solo cambia respecto al caso anterior el signo de x, y por lo tanto, es aplicable la fórmula (2) con este cambio. El segundo es el que tiene una parte del perfil en desmonte y la otra en terraplen: esta última, que llamaremos T, será, prolongando *nm* hasta b', y suponiendo que la línea del terreno sea $b''s$,

$$T = mrs = b'sb'' + ab''r - b'ma$$

y como si representamos por l' la distancia conocida *ma*, se verifica que

$$b'a = l't; \; ab'' = y; \; b'b'' = l't - y; \; hs = \frac{l't - y}{t - x} \; ar = \frac{y}{x},$$

la expresion anterior se convertirá en

$$T = \tfrac{1}{2} \frac{(l't - y)^2}{t - x} + \tfrac{1}{2} \frac{y^2}{x} - \tfrac{1}{2} l'^2 t;$$

y la parte en desmonte D será

$$D = ab''r = \tfrac{1}{2} \frac{y^2}{x}.$$

El tercer caso que consideramos tiene (fig. 29) la cota roja en terraplen y el terreno en rampa, dividiéndose tambien en otros dos distintos, segun pase la línea del terreno superior ó inferiormente al punto *m*. Si pasa por debajo resulta que el área buscada T es igual á la del triángulo *bcq* ménos la del *bam*, luego

$$T = \tfrac{1}{2} bc \times lq - \tfrac{1}{2} ba \times am = \tfrac{1}{2}(y + l't) \times lq - \tfrac{1}{2} l'^2 t;$$

pero $lq=\frac{l't+y}{l+x}$(a), por lo tanto, resulta

$$T=\tfrac{1}{2}\frac{(y+l't)^2}{t+x}-\tfrac{1}{2}l'^2\,t.$$

Si la línea del terreno cq'' pasa por encima de m habrá, como en el caso segundo, parte en desmonte y parte en terraplen. Esta, medida por el triángulo acr, tiene por expresion

$$T=\tfrac{1}{2}\frac{y^2}{x}$$

y la otra será

$$D=cb'q''+acr-apb'=\tfrac{1}{2}\frac{(l't-y)^2}{t-x}+\tfrac{1}{2}\frac{y^2}{x}-\tfrac{1}{2}l'^2t$$

Por último, en el cuarto caso (fig. 30), en que la cota roja está en terraplen y el terreno en pendiente, el área valdrá

$$T=\tfrac{1}{2}\frac{(y+l't)^2}{t-x}-\tfrac{1}{2}l'^2t.$$

27. **Uso de las tablas.**—Con las fórmulas anteriores se han dispuesto tablas como se ha dicho más atrás, en las que los valores de x crecen de $0,^m005$ en $0,^m005$ desde $0,^m00$ hasta $0,^m10$, y despues de $0,^m01$ en $0,^m01$ hasta $0,^m25$: los valores de y crecen de $0,^m01$ en $0,^m01$ desde $0,^m00$ á 1^m, y de $0,^m02$ desde 1 hasta 3^m. Para usar estas tablas se busca en la columna de las y la cota roja del proyecto, segun se encuentre en terraplen ó en desmonte, y siguiendo el renglon hasta la columna de las pendientes ó las rampas igual á x, se tendrá el valor del área en desmonte ó terraplen de medio perfil, que se suma con el análogo del otro medio.

Aunque estas tablas hayan prestado y presten muy buenos

(a) Este valor de lq y el sh del caso anterior dan el ancho horizontal del terreno ocupado por el semi-perfil, y puede expresarse en general por $\frac{A\pm y}{B\pm x}$, siendo A y B dos constantes conocidas.

servicios, tienen sin embargo el inconveniente de que sus resultados solo abarcan valores muy limitados de las variables y de no dar un elemento á veces indispensable, cual es el ancho de los perfiles, segun el terreno, ó lo que es lo mismo, el ancho de la zona de terreno que se ha de ocupar con las obras. A fin de obviar estos inconvenientes se han calculado otras tablas, que son las que vamos á describir.

28. **Tablas logarítmicas.**—Examinando las fórmulas anteriores, que han servido para deducir el área en los diversos casos de aplicacion, y observando que hay en ellas términos constantes que pueden determinarse de antemano, á los que llamaremos A y B, se deduce que la forma general de estas expresiones es $\frac{(A \pm y)^2}{2\,(B \pm x)}$. Por lo tanto, si se disponen unas tablas en las que aparezcan el valor de los dos términos de esta fraccion, bastará dividirlos para obtener el área buscada. Pero si las tablas dieran los logaritmos del numerador y los complementos logarítmicos del denominador, bastaria sumarlos y buscar en una tabla de logaritmos el número correspondiente para tener el valor que deseamos. Así es como se han construido.

La tabla primera, que á continuacion se inserta, comprende todos los valores de log. $(A \pm y)^2$ y la segunda todos los de logaritmo $\frac{1}{2\,(B \pm x)}$; así como los de la expresion de la forma $\frac{A \pm y}{B \pm x} = \frac{2\,(A \pm)y}{2\,(B \pm x)}$, puesto que se tiene entonces en la columna titulada *log*. $2y$ de la tabla primera el valor correspondiente, que sumado con log. $\frac{1}{2\,(B \pm x)}$ da el resultado que se busca.

Para tener el número correspondiente á un numerador como $(A \pm y)^2$ ó $(A \pm y)$ se observará primero que la parte constante A debe hallarse entre los números 1,00; 1,33; 1,50; 1,67........ que ocupan hácia la derecha la primera línea horizontal de la tabla primera. Tenido este número, se sigue por su columna, en las diferentes páginas de la tabla hasta llegar á un valor igual y del mismo signo que y; desde él se sigue la línea horizontal hasta que se encuentre la columna vertical titulada *log*. y^2 para cuando la expresion era $(A \pm y)^2$ ó hasta la columna *log*. $2y$ para $(A \pm y)$, en las que se hallará el número buscado.

TABLA PRIMERA.

y	Log. $^1/_2$ y.	Log. 2 y.	y^2	Log. y^2.	1,00	1,33	1,50	1,67	2,00	2,50	2,33	2,67	3,00	"	"	....	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"	"	"

El uso de la tabla segunda es tanto ó más sencillo. Para tener un denominador tal como $2\,(B \pm x)$ se busca en la primera columna el valor de x y una vez obtenido, se sigue la línea horizontal hasta llegar á la columna titulada log. $\frac{1}{2\,(B \pm x)}$ y el número escrito en dicha columna es el que se busca.

TABLA SEGUNDA.

x	Log. $\frac{1}{2\,x}$	Log. $\frac{1}{2\,(^1/_2+x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(^1/_2-x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(^2/_3+x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(^2/_3-x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(1+x)}$	....	Log. $\frac{1}{2\,(6-x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(10+x)}$	Log. $\frac{1}{2\,(10-x)}$
"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	....	"	"	"

Una vez hallados por medio de estas tablas los dos términos de una fraccion, bastará sumarlos y buscar el número correspondiente en unas tablas de logaritmos; pero se puede evitar esta última operacion de la siguiente manera: se busca, bien sea en la columna *log.* $^1/_2\, y$, bien en la inmediata *log.* $2y$, el número que más se aproxima al logaritmo obtenido de la fraccion, como se acaba de decir, y el resultado que se desea será la mitad del número que está en la columna y en la misma horizontal que aquel en que nos hemos fijado en la columna *log.* $^1/_2\, y$, ó el doble del mismo número si nos hemos fijado en la *log.* $2\,y$. De este modo se puede obtener, con un error que no llega á 0,02, el valor de las fracciones comprendidas entre 0 y 320 (a).

Haciendo uso de las reglas logarítmicas, ó de abacos convenientemente dispuestos, se pueden abreviar mucho estas operaciones, sin perjuicio de la exactitud necesaria para los resultados. (b)

Aunque de una gran utilidad, tienen sin embargo las tablas numéricas el inconveniente de tenerse que buscar varios números y hacer operaciones en las que se invierte algun tiempo; así es que se ha tratado de obtener de una manera mucho más rápida y sencilla los mismos resultados, por medio de los cuadros gráficos.

29. **Cuadros gráficos.**—Cuando dos variables tienen entre sí una relacion determinada, se sabe que pueden representarse por las coordenadas de una curva, y que una vez obtenida esta se pueden hallar los valores de una de aquellas cuando se tienen los de la otra. Por lo tanto se puede reemplazar por una curva plana cualquier tabla en la que la série de valores de una cantidad variable está dada por los valores sucesivos de otra variable, de la que es funcion la primera; tablas que se llaman de *simple entrada.*

Pero si la variable depende de otras dos, como sucede á las A respecto á las x é y de la tabla puesta en el núm. 26, puede representarse su relacion por una superficie, cuya expresion general tendrá la forma

$$F\,(x,\ y,\ z)=o.$$

(a) Véase para más detalles las *Tables nouvelles,* par Leon Lalanne.

(b) Véase los *Annales des ponts et chaussèes;* primer semestre de 1864.

Si en esta expresion hacemos sucesivamente $z=c$, $z=2c$, $z=3c$, se tendrán las ecuaciones de varias curvas de nivel, que no serán otra cosa que las secciones ocasionadas en la superficie por los planos paralelos al de las xy. Proyectando sobre este plano las secciones, estarán respectivamente expresadas por

$$F(x, y, c)=o; F(x, y, 2c)=o; F(x, y, 3c)=o; \ldots\ldots$$

y las curvas que representan se pueden desde luego trazar en el plano de las xy, poniendo en cada curva el valor constante $z=c$..... que expresa su altura sobre el plano de proyeccion. Estas curvas, así trazadas, constituyen lo que se llama un *cuadro gráfico*, habiéndose apoyado en este principio M. Lalanne para calcular los que publicó en 1843.

Para hacer uso de éstos, basta tomar en los ejes respectivos os valores de x é y y el punto de encuentro de estas coordenadas nos dará, si cae en una de las curvas trazadas, el valor correspondiente de z. Si el punto de encuentro cayera entre dos curvas, se podria tener el valor de z por interpolacion entre los de dichas curvas, con arreglo á la distancia á que estuviera de las mismas.

No obstante la sencillez de este procedimiento, exige en la práctica la construccion por puntos de un gran número de curvas, operacion larga, pesada é inexacta, lo que ha obligado á buscar otro sistema más expedito, fundado en la siguiente teoría.

30. **Anamórfosis de las líneas y superficies.**—Si tenemos una curva cualquiera $mnpq$ (fig. 31), referida á dos ejes rectangulares, y consideramos un punto cualquiera r, sus coordenadas serán or' y $r'r$; pero si adoptamos para las abcisas una escala tal que el valor or' esté representado por la distancia or'', el punto r habrá venido al r_1, sin alterar su ordenada. Otro tanto pudiera hacerse con los demás puntos, de modo que la escala referida será en cada caso una cierta funcion, $f(x)$ que se determinará de suerte que cada punto r se trasporte á otro correspondiente á una recta mp ó por lo ménos á otra curva más sencilla que la dada. Así habremos trasformado la curva en una recta, mucho más fácil de trazar, pero en cuya representacion las abcisas no crecen segun la série de los núme-

ros naturales, sino que varían con arreglo á la naturaleza de la expresion $f\ (x)$.

De la misma manera, si la ecuacion de la superficie que liga á tres variables es

$$F\ (x,\ y,\ z)=o\ldots\ldots\ldots (1)$$

admitamos que se la pueda trasformar en otra más sencilla,

$$F\ (x',\ y',\ z')=o\ldots\ldots\ldots (2)$$

cuyas variables estén ligadas á las primitivas por relaciones de la forma

$$x'=f_1\ (x);\ y'=f_2\ (y);\ z'=f_3\ (z)\ldots.\ (3).$$

Ahora bien, si en vez de graduar los ejes de coordenadas en partes iguales, como siempre se hace, se los dividiera segun las leyes que expresan las ecuaciones de condicion (3), las cuales dan la relacion que existe entre los valores primitivos de x, y y z y los modernos de x', y' y z', se podrán obtener curvas de nivel en la superficie que representa la ecuacion (2), las cuales serán mucho más sencillas que las correspondientes á la superficie cuya ecuacion es (1).

Por más que las ecuaciones (1) y (2) representen superficies muy distintas (a), los cuadros gráficos que se deduzcan de las curvas de nivel de cada una de ellas darán los mismos resultados, y por lo tanto, podrá emplearse solamente la segunda. Para esto supongamos que tenemos el valor de x y de y y queremos el correspondiente de z: empezaremos por deducir de las dos primeras ecuaciones (3) los valores de x' é y', correspondientes á los x é y, y los tomaremos en los ejes respectivos; el punto de encuentro de las dos coordenadas que pasan por ellos caerá en una curva de nivel, la $z'=2\,c$, por ejemplo, y este valor de z', sustituido en la tercera ecuacion (3), nos dará el de z que buscamos.

Con el fin de simplificar el uso de estos cuadros y evitar las sustituciones antedichas, se anota en las curvas, no los verdade-

(a) Sucede con frecuencia que en virtud de las ecuaciones de condicion (3) los valores de x', y' y z' no son nulos al mismo tiempo que x, y y z, lo que indicará únicamente un cambio de posicion en el orígen de las nuevas coordenadas, que deberá determinarse respecto al de las antiguas.

ros valores $z'=c$, $z'=2c$... sino los correspondientes de z, deducidos de las ecuaciones (3). Otro tanto se hace con los de x' é y', de modo que en el cuadro solo se escriben los de x é y; así es que cuando se tienen los dos últimos valores es fácil deducir directamente el que se busca de z.

Hagamos más claro el procedimiento aplicándole á la ecuacion (2) del núm. (26.) Llamando z el valor de A y representando por a la constante $\frac{1}{2}\,l^2t$, se podrá escribir bajo la forma

$$2\,(z+a)\,(t-x)=(y+lt)^2 \ldots\ldots\ldots (4)$$

y haciendo

$$z'=\log.\,2\,(z+a);\ x'=\log.\,(t-x);\ y'=\log.\,(y+lt) \ldots (5)$$

tendremos

$$y'=\tfrac{1}{2}\,x'+\tfrac{1}{2}\,z' \ldots\ldots\ldots (6)$$

ecuacion que representa una superficie más sencilla que la (4) y cuyas curvas de nivel proyectadas en el plano xy son líneas rectas paralelas, con una inclinacion de 1 de base por 2 de altura y teniendo por ordenada en el orígen $\frac{1}{2}\,z'$. Por lo tanto se tiene así un cuadro gráfico sencillo, en el que solo hay que graduar los ejes, no segun la série de los números naturales, sino con arreglo á los valores que dan las ecuaciones de condicion (5) (a).

31. **Cuadros de Lalanne.**—Fundándose en este principio y adoptando el modo de graduacion que se ha expuesto, ha construido el ingeniero francés M. Lalanne cuatro cuadros, de los que es un ejemplo la fig. 32, los cuales no son otra cosa que la anamórfosis de los que hubieran resultado construyendo la ecuacion (4) anterior, la cual, haciendo $x''=t-x$; $y''=y+lt$, y $z''=2\,(z+a)$ hubiera afectado la forma

$$x''\,z''=y''^2$$

Construidos estos cuadros, bastará, como se ha dicho más atrás buscar en los ejes respectivos los valores de x' é y' y el

(a) Las ecuaciones (5) hacen ver que el eje de las y no ha variado, puesto que x' es cero cuando lo es x, siendo $t=1$ en la práctica y resultando invertido el sentido positivo de las x, porque x' es negativa para cualquier valor positivo de x. El orígen de las y ha subido respecto al antiguo en una cantidad expresada por la ecuacion $y'=\log.\,(y+lt)$ aunque conservando el mismo sentido positivo.

punto de encuentro de estas coordenadas tendrá lugar en una oblícua que llevará anotado el valor de z' correspondiente, ó sea el área que se busca.

Debe observarse, sin embargo, que estos cuadros en que solo hay líneas rectas no son aplicables cuando el perfil está á media ladera, puesto que entonces no es posible la anamórfosis, en razon á que las fórmulas que representan las superficies en desmonte y en terraplen nos llevarian á distintas graduaciones para los ejes coordenados. Para salvar esta dificultad ha conservado M. Lalanne el doble sistema de curvas primitivas en unos pequeños cuadros suplementarios, convenientemente situados y que solo ocupan un corto espacio: estos cuadros forman pequeños triángulos, destacados de los rectángulos principales, que corresponden al valor límite $y=lx$, por bajo del cual hay desmonte y terraplen en el mismo perfil: las curvas que aparecen se trazan de diferente manera y se anotan con una D ó una R segun se refieran al desmonte ó al terraplen.

Por último, ya hemos dicho que otro elemento importante para la apreciacion del coste de estas obras es la determinacion del ancho que ocupan en el terreno los perfiles, y éste se obtiene por medio de otros cuatro cuadros, análogos á los precedentes, que se encuentran en hoja separada.

M. Lalanne ha demostrado que se podia construir un cuadro en que solo apareciesen líneas rectas y con el cual se podrian tener las superficies de desmonte ó terraplen y el ancho del perfil, siendo cualesquiera el ancho de la vía y la inclinacion de los taludes. Esta última ventaja es fácil de obtener graduando nuevamente los ejes x' é y' segun los valores de $t\pm x$ y de $y+lt$ en vez de hacerlo segun los de x é y, é inscribiendo en las líneas inclinadas los valores de $z+a$ en vez de los de z. De esta manera se daria al cuadro toda la generalidad posible.

Para usar este cuadro, y teniendo en cuenta que en cada perfil l, t y a son constantes conocidas, se entraria por los valores de $t\pm x$ y de $y+lt$, en los ejes relativos al perfil que se considera, y bastará deducir la constante a de la cota correspondiente á la línea en que se cortan las dos coordenadas. Los dos sistemas de oblícuas que resultan, se refieren, el uno á las áreas y el otro á los anchos de los perfiles; pero se pueden reducir á uno solo, resultando oblícuas á 45° que sirvieran para

determinar los dos elementos buscados: para esto hubiera bastado hacer en las ecuaciones (5) del número anterior.

$$x'=\log.\,(t-x)=2\,x''$$

y entonces se convertiria la (6) en

$$y'=x''+{}^1/_2\,z'$$

que representa rectas á 45°

Además, estando representado el ancho del perfil por

$$l=\frac{y+lt}{t\mp x},\ \text{resulta, } y'=x'+\log.\ l.$$

ecuacion que demuestra que los anchos se obtienen por medio de las mismas oblícuas que las superficies, con tal de tener en cuenta las relaciones

$$x''={}^1/_2\,x';\ \log.\ l={}^1/_2\,z'=\tfrac{1}{2}\log.\ 2\,(z+a)$$

de donde

$$z+a=\frac{l^2}{2}$$

lo que nos dice que las cotas que se refieren á las superficies deben ser la mitad de los cuadrados de las cotas relativas á los anchos (a).

32. **Cuadros de Davaine.**—El Ingeniero francés M. Davaine ha construido otros cuadros gráficos, fundándose en las siguientes consideraciones.

Sea *dobc* (figuras 33 y 34) un semiperfil cuya área, que llamaremos *A*, es la que se busca y hagamos $dc=y'$, conservando las demás notaciones establecidas en el número (26). Prolonguemos las rectas *dc* y *ob* hasta su encuentro en *s*; tracemos por *d* la paralela *ds'* al talud *ob* hasta encontrar á la vertical que pasa por *o*, y de esta manera se formará el paralelógramo *s'osd* cuya área será doble de la del triángulo *sod*. Por consiguiente, el área buscada *A*, será

$$A={}^1/_2\,P-T,$$

(a) Un cuadro de esta clase tiene toda la generalidad posible, por ser aplicable á todos los anchos de vía; á todas las inclinaciones de los taludes, á los desmontes como á los terraplenes, y dá las áreas y los anchos de los perfiles. Sin embargo, es siempre preferible tener un cuadro para los datos de cada caso, á fin de evitar las tres sumas ó restas que hay que hacer antes ó despues de la lectura, y los errores que esto puede ocasionar.

siendo P el área del paralelógramo dicho y T la del triángulo bcs.

Pero si llamamos θ el ángulo $s'os$, sabemos que

$$P = s'o \times os. \text{ sen. } \theta$$

y como

$$T = {}^1/_2 \, cb \times cs = {}^1/_2 \, l.lt = {}^1/_2 \, l^2 t$$

resultará sustituyendo

$$A = {}^1/_2 \, s'o \times os. \text{ sen } \theta - {}^1/_2 \, l^2 t \ldots. \quad (1).$$

Lo que nos dice que el área A se compone de dos términos, uno constante y conocido para cada tipo de perfil trasversal y el otro variable: más teniendo en cuenta que θ es constante en cada tipo, se podrán hacer variar los valores de $s'o$ y os de tal modo que su producto permanezca constante, y entonces se verificará que el lugar geométrico de las diversas posiciones que tome el vértice d será una curva, que representará un valor constante de A. De la misma manera, dando á $s'o \times os$ otros valores constantes deduciriamos diversas curvas, como la anterior.

Así pues, tomando por ejes coordenados las rectas os y os', llamemos $os = x$ y $os' = y$ (ahora será $y = y + lt$) y representemos por m^2 la constante antedicha; la ecuacion del lugar geométrico de que hemos hablado será,

$$xy = m^2 \ldots.. \quad (2).$$

ecuacion de una hipérbola referida á sus asíntotas. Dando á m diferentes valores se puede formar un cuadro en el que aparezcan las diversas hipérbolas correspondientes, con las dos asíntotas comunes.

Una vez construido este cuadro no habrá más que aplicar á él cada semiperfil de modo que la línea del talud coincida con el eje de las x y el extremo de aquel venga al orígen o: entonces el vértice d caerá sobre una hipérbola que tendrá escrita el área buscada. Pero como lo que se desea es no tener que dibujar el perfil, se puede tambien determinar la posicion del vértice d por la interseccion de la línea $s'd$, paralela al eje de las x y cuya ordenada es $s'o = y_1 + lt$, con la od, que forma con la horizontal el ángulo α.

Ahora bien; estas últimas líneas se encuentran ya trazadas en los cuadros de M. Davaine, como puede verse en la fig. 35,

en la cual se observa que el eje de las y, representado por oq, está dividido en partes iguales á $0,^{m}10$, con arreglo á la escala de la figura, hallándose numerados los puntos de division, por cada uno de los que pasa una paralela al eje de las x. Del punto o parten varias rectas, cuyas pendientes por encima ó debajo de la horizontal, representada por op, varían de $0,^{m}025$ en $0^{m}025$. Para usar de este cuadro bastará seguir con la vista las dos líneas que en cada caso corresponden á la cota roja y á la inclinacion trasversal del terreno, y despues leer la anotacion de la curva en que vienen á cortarse.

Tambien se puede determinar por medio de este cuadro el ancho po (figs. 33 y 34) que cada perfil ocupa en el suelo, cuestion interesante para conocer el importe de la expropiacion por el terreno ocupado. Para esto bastará dividir en partes iguales á partir del punto o (fig. 35), la recta op, y por los puntos de division trazar paralelas á las ordenadas: la distancia entre la paralela de estas que pasa por el punto obtenido de la hipérbola y el eje de las y dará el ancho horizontal de la zona ocupada.

Se puede aplicar un solo cuadro á todos los anchos de via, siempre que no varíe la inclinacion de los taludes, y para conservarle toda la generalidad posible es preciso colocar el cero de la escala de las ordenadas en el punto o, y anotar en cada curva la superficie del semiparalelógramo correspondiente. En este cuadro se entra por la ordenada $y+lt$, y por la oblícua que representa la inclinacion del terreno y despues se resta de la anotacion de la curva correspondiente la constante $\frac{l^2t}{2}$. Si los taludes del desmonte y terraplen fueran iguales bastaria para ambos casos un solo cuadro, con solo suponer invertidos los perfiles y dar al ancho de la via l el valor que le correspondiera.

Es fácil evitar la resta indicada inscribiendo en las curvas el valor del semiparalelógramo ménos $\frac{l^2t}{2}$ y colocando el cero de la escala de las y en el punto g (figs. 33 y 34), interseccion del eje de las y con la paralela á las x trazada por el punto c. Entonces se entra en el cuadro con el verdadero dato del problema que es la cota roja gs'. Si debiera servir el mismo cuadro para los desmontes y terraplenes seria preciso anotar una se-

gunda graduacion en el eje de las *y*, porque no siendo el mismo en ambos casos el ancho de la via, habrá cambiado de posicion en este eje el cero de la escala.

En el caso de haber desmonte y terraplen en el mismo semiperfil (figs. 36 y 37), caen en defecto los valores del cuadro, que solo darian la diferencia de las dos clases de superficie; porque estos valores no son más que la diferencia de las áreas de los triángulos *ods* y *bcs*: esta diferencia, que puede ser negativa, deberá sumarse al área del triángulo *kcd* restado de más. En tal caso es preciso considerar el perfil como todo en desmonte ó terraplen, segun que el extremo del talud resulte en desmonte ó terraplen, y llevar negativamente á partir del cero *g* la cota sobre el eje *gs'*: el ancho del perfil que se leerá en el cuadro es exacto; pero no lo será el área que es preciso aumentar con la del triángulo *kcd*. Su altura *cd* es conocida, y M. Davaine indica un procedimiento sencillo para determina· la base *kc*; pero es tan rápido calcular directamente esta superficie, que está representada por

$$\frac{y^2}{2x}$$

Aplicando M. Lalanne el principio de la anamórfosis al cuadro de M. Davaine, ha trasformado: 1.° las hipérbolas primitivas en equiláteras, y 2.° éstas en rectas inclinadas á 45° respecto á los ejes coordenados y las rectas concurrentes en otras paralelas entre sí y perpendiculares á las trazadas á 45°.

El cuadro construido por el referido ingeniero, que en parte está representado en la fig. 38, solo tiene rectas horizontales, verticales é inclinadas en ambos sentidos á 45°. Se entra en él por la cota roja tomada en su respectivo eje que se lee en esta direccion \ , y por la inclinacion del terreno natural que es horizontal; encontrándose en el concurso de estas dos líneas: 1.° una línea vertical | cuya cota ó anotacion indica la superficie del desmonte ó del terraplen; 2.° otra línea inclinada / que corresponde á la graduacion inferior, en la que se indica el ancho ocupado por el semiperfil (a).

(a) La posicion relativa de estas líneas es la misma que la de sus correspondientes de la fig. 39, despues de hacerla girar 45° en el sentido marcado por la flecha.

Para verificar estas trasformaciones supongamos que teniendo un cuadro construido para un tipo determinado de perfil se le quiera hacer servir para otro tipo distinto. Consideremos con este objeto dos perfiles cualesquiera *odcb* (fig. 40) y *o'd'c'b'* (fig. 41), cuyas áreas llamaremos respectivamente A y A'. Hagamos en el primero $tg.\ \alpha = p$; $tg.\ \beta = t$; $bc = l$; $dg = y$ y representemos los valores análogos del segundo por p', t', l' é y'. Si suponemos que al trasformarse el triángulo *ogd* en el *o'g'd'* solo ha experimentado una especie de distension paralelamente al eje de las ordenadas, ambos triángulos serán equivalentes y además sus proyecciones sobre las horizontales *of*, *o'f'* serán iguales; por lo tanto se deduce que tambien lo serán sus bases $gd = y + lt$ y $g'd' = y' + l't'$, luego

$$y + lt = y' + l't' \ldots\ldots (3)$$

Esto nos dice que para que el cuadro dispuesto con los primeros datos sirva para cuando se han de emplear los segundos, no habrá que alterar nada la posicion de las rectas paralelas al eje de las x, y como además hemos supuesto que los triángulos *ogd* y *o'g'd'* son equivalentes, tampoco sufrirán modificacion las hipérbolas, con tal de que lleven la anotacion del área de estos triángulos, mitad de los paralelógramos ya conocidos. Pero las rectas concurrentes al punto o, cuyas ecuaciones son de la forma

$$y = x\ tg\ \alpha = px \ldots\ldots\ldots (4)$$

habrán de sufrir un cambio en su direccion y numeracion si han de servir para los nuevos datos, y este cambio es el que vamos á ver cómo se verifica.

Observemos que en las figuras 40 y 41 se tiene

$$y = fg - fd = of.\ tg\beta - of.\ tg\alpha = of\,(t - p)$$
$$y' = f'g' - f'd' = o'f'.\ tg\beta' - o'f'.\ tg\alpha' = o'f'\,(t' - p')$$

y si en lugar de subir el terreno desde el eje fuera bajando, p y p' tendrian el signo $+$ y por consiguiente la expresion general de estos valores será

$$y = of\,(t \mp p)$$
$$y' = o'f'\,(t' \mp p')$$

pero por hipótesis se tiene que los valores de y é y' son iguales, así como los de of y $o'f'$; por lo tanto se deduce

$$t \mp p = t' \mp p'$$

lo que nos da el valor de p' en funcion de p y de cantidades conocidas.

Por otra parte, el valor de t' cambia de signo al pasar de desmonte á terraplen; de modo que si suponemos $t'=o$, los ejes coordenados serán entonces rectangulares, y por lo tanto, las hipérbolas serán equiláteras, en cuyo caso

$$\pm p' = \pm p - t$$

que en este supuesto es la relacion buscada entre la nueva pendiente p' y las cantidades p y t del antiguo perfil. En virtud de esta relacion y de lo dicho anteriormente se podrá construir un cuadro de ejes rectangulares (fig. 42) que sirva para cualquier tipo de perfil, en el cual las hipérbolas llevarán la anotacion correspondiente al valor $x\,y$ de la ecuacion (2); las rectas paralelas al eje de las abscisas conservarán la expresion $y+lt$, de la ecuacion (3) y solo variarán las rectas que pasan por el orígen, las cuales tendrán por ecuacion en vez de la (4) la que ahora les corresponde que será

$$y = \pm p'x = (\pm p - t)\, x$$

valores que se anotarán en las rectas correspondientes.

No obstante lo dicho, se necesitarian en realidad tantos cuadros cuantos taludes diferentes hubiera, porque no se puede recargar una misma escala con varias graduaciones diferentes, sin ocasionar cierta confusion.

La segunda trasformacion, que evita la oblicuidad con que se cortan las rectas, puede obtenerse fácilmente y simplificar al propio tiempo la construccion del cuadro, haciendo uso de la misma teoría de la anamórfosis. Para esto conservemos sin alteracion en la figura de coordenadas rectangulares las rectas paralelas al eje de las x y apliquemos únicamente la indicada teoría á las hipérbolas y rectas concurrentes al orígen, cuyas respectivas ecuaciones son:

$$\begin{cases} x\,y = m^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (5) \\ y = (\pm p - t)\,x \ldots\ldots\ldots (6) \end{cases}$$

Tomando sus logaritmos, se tiene

$$\begin{cases} \log.\ x + \log.\ y = \log.\ m^2 \\ \log.\ y = \log.\ x + \log.\ (\pm p - t) \end{cases}$$

y si hacemos $log.\ x = x'$; $log.\ y = y'$; $log.\ m^2 = b$; $log.\ (\pm p - t) = a$, se tendrá

$$\begin{cases} x' + y' = b \ldots\ldots\ldots\ldots (7) \\ y' = x' + a \ldots\ldots\ldots\ldots (8) \end{cases}$$

lo que nos dice que en vez de las hipérbolas (5) tendremos líneas rectas (7) á 45° como la *ab* (fig. 39), y en lugar de las rectas concurrentes (6) las paralelas (8) inclinadas tambien á 45° como las *cd*, que es la trasformacion que verificó M. Lalanne, de que ya nos hemos ocupado.

CAPITULO III.

Anotacion y representacion de volúmenes.

33. **Su objeto.**—Hemos visto en el capítulo I las fórmulas que determinan los volúmenes, cuando se conocen las áreas de las secciones trasversales y las distancias que las separan. Los resultados que de esta manera se obtienen para la remocion de tierras es necesario consignarlos, ya sea en estados numéricos, á fin de conocer el volúmen total de desmontes y terraplenes y poder despues deducir su coste, como veremos más adelante, ya en cuadros gráficos que den á conocer no solo estos volúmenes sino además la posicion relativa en que se encuentran, con objeto de deducir las distancias de los trasportes, que como tambien veremos (74 y siguientes) es dato indispensable para conocer el coste de la obra.

ARTÍCULO I.

Anotacion de los volúmenes.

En los movimientos de tierra de mucha longitud, como sucede en las vias de comunicacion, conviene anotar ordenada-

mente los volúmenes parciales y los datos de donde se han deducido, á fin de poderlos comprobar cuando sea necesario en las operaciones posteriores que tienen por objeto conocer el importe de la obra. Para esto se forman diferentes estados, segun los casos.

34. **Estados de cubicacion.**—Si en la determinacion de los volúmenes se ha seguido el método llamado exacto, pueden agruparse los datos y resultados de diversas maneras; pero en general bastará consignarlos en un estado como el que se inserta á continuacion, por medio del cual es fácil comprobar la exactitud de los volúmenes que se deducen.

Estado de cubicacion segun el método exacto.

Número de órden.	Perfiles. Superficies de las bases. Desmonte. *Met. cuad.*	Terraplen. *Met. cuad.*	Alturas de las aristas. Metros lineales.	Volúmenes correspondientes á cada entreperfil. Desmonte *Met. cub.*	Terraplen *Met. cub.*	Observaciones.
1	Trapec.º A	»	h=...h'=...h''=...h'''=..	D=. . . .	»	»
»	Rectán.º B.	»	h=...h'=...h''=...h'''=...	D'=. . .	»	»
»	»	Rectán.º C.	h=o;h'=...h''=...h'''=...	»	T=. . . . . T'=. . . .	»
»	»	Triáng.º D.	» »	»	»	»

Cuando se adoptan en la cubicacion los métodos expeditos, tambien se pueden formar los estados de distintas maneras, segun se quiera consignar con más ó ménos detalles los datos que sirven para deducir los volúmenes buscados; pero bastará insertar aquí el que ha adoptado nuestra Administracion para redactar los proyectos de carreteras, el cual se refiere más principalmente al caso de emplear el método de la media de las áreas, si bien puede servir de tipo para cualquiera otro (a).

(a) Hay además otros estados en los formularios destinados á la redacion de estos proyectos para determinar el volúmen de las escavaciones dentro y fuera de la línea; para la distribucion prudencial de los productos de estas escavaciones, y para las distancias medias aproximadas á que las mismas se han de trasportar.

Estado de cubicacion segun el método de la media de las áreas.

Perfiles.			Distancias entre los perfiles.	Volúmenes correspondientes á cada entre perfil.	
Número de órden.	SUPERFICIE EN LOS PERFILES. Desmonte. *Metros cuad.*	Terraplen. *Metros cuad.*	*Metros lineales.*	Desmonte. *Metros cúb.*	Terraplen. *Metros cúb.*
1	D.	»	l	V_d	»
2	D'.	T.	l'	V'_d	V_t
»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»

Por medio de estos estados se tiene desde luego el volúmen de la remocion de tierras que hay que verificar y es fácil deducir aproximadamente las distancias que se habrán de recorrer para llevarlas á puntos dados, lo que recibe el nombre de *distancias de trasporte*, puesto que cada uno de los volúmenes obtenidos se encuentra entre dos perfiles consecutivos. De estas distancias dependen, como veremos al tratar más adelante de los trasportes, los medios empleados en esta operacion y los gastos que ocasiona, datos necesarios para deducir el precio total de la obra que se trata de ejecutar.

ARTÍCULO II.

Representacion gráfica de los volúmenes.

El doble objeto que nos proponemos con esta representacion consiste en trazar figuras geométricas cuyas áreas representen desde luego el volúmen en desmonte ó terraplen comprendido entre perfiles dados, y en situarlas de modo que guarden la misma posicion relativa que entre sí tienen estos volúmenes.

35. **Método general.**—Si consideramos el perfil longitudinal de una vía, en el cual están señalados los puntos en que se han tomado los perfiles trasversales, y trazamos dos ejes coordenados retangulares, uno horizontal para las abscisas y el otro vertical, podremos sustituir las cotas rojas de los perfiles trasversales por otras rectas verticales que pasen por los mismos

puntos, pero cuya longitud será distinta y se determina con arreglo á una cierta ley. Esta longitud se deduce admitiendo que la unidad del área de un perfil trasversal cualquiera se representa por una cierta longitud, de modo que repitiendo esta tantas veces como la primera se encuentra comprendida en la superficie del perfil, tendremos una vertical que, en la escala correspondiente, representa el área del perfil respectivo. La longitud de estas verticales se empieza á contar siempre desde el eje de las x, y se ha convenido en situarlas por la parte superior cuando la superficie que representan está en desmonte, y por la inferior cuando está en terraplen.

Hecho esto, y unidos los extremos de estas verticales por medio de líneas, que despues deduciremos, tendremos representado el volúmen de cada entreperfil por medio de superficies planas, limitadas por las líneas de que acabamos de hablar, el eje de las x y las dos ordenadas.

La posicion respectiva de estas áreas es la misma que la de los volúmenes correspondientes, puesto que en nada se ha alterado la distancia de un perfil á otro, con arreglo á la escala adoptada para las abscisas.

36. **Aplicaciones, 1.er caso.**—Ya hemos visto (5) las fórmulas que dan los volúmenes en los diversos casos de aplicacion, y entonces dedujimos que cuando los dos perfiles están en desmonte ó en terraplen la expresion de su volúmen es

$$V = \tfrac{1}{2}\, l\,(S+S') + \tfrac{1}{6}\, l\,(s+s') \ldots\ldots (1)$$

Veamos de representar gráficamente este valor, y para esto supongamos que la fig. 43 es el perfil longitudinal correspondiente á la fig. 7, pero en el cual solo se han señalado las distancias horizontales que hay entre los perfiles y los dos ejes coordenados ox y oy. Si en los puntos a y b que corresponden á los dos primeros perfiles, se levantan dos verticales y en la escala que se haya adoptado se toma la magnitud am igual al área S y la bn igual á la S', el área del trapecio $abmn$ será

$$l\frac{am+bn}{2} = \tfrac{1}{2}\, l\,(S+S')$$

La representacion del término $\tfrac{1}{6}\, l\,(s+s')$ se verifica tomando á partir de m una magnitud igual á $\tfrac{2}{6}\, s$ y uniendo el punto r y n; y despues, marcando sobre n otra magnitud igual,

á $\frac{2}{3}s'$ y uniendo el punto t con el r. Las áreas de estos dos triángulos representan el volúmen buscado, y la total $abrt$ la correspondiente á la expresion (1).

Si hubieran estado los perfiles en terraplen, las construcciones habrian sido las mismas; pero por debajo del eje de la x.

Aunque las áreas así obtenidas representan en magnitud los volúmenes correspondientes, veamos ahora si tambien los representan en posicion. Consideremos aparte (fig. 44) y rebatidos los dos perfiles dados $abcd$ y $a'b'c'd'$ y tracemos otros dos $\alpha\beta\gamma\delta$ y $\alpha'\beta'\gamma'\delta'$, intermedios y paralelos á éstos: si trazamos dos planos pq, $p'q'$ paralelos al eje de la vía, que disten entre sí una cantidad muy pequeña Δb y llamamos ΔS, ΔS_1, ΔS_2, $\Delta S'$ las áreas que comprenden en los respectivos perfiles, el valor de estas áreas será

$$\Delta S = h\Delta b;\ \Delta S_1 = h_1\Delta b:\ \Delta S_2 = h_2\Delta b;\ \Delta S' = h'\Delta b$$

siendo h, h_1... las alturas medias. Estas fórmulas indican que las áreas ΔS, ΔS_1... son proporcionales á las cotas rojas h, h_1, h_2... pero como los extremos de estas están en línea recta, en virtud de la generacion admitida para la superficie del terreno, resulta que aquellas estarán representadas por las verticales mn, m_1n_1, m_2n_2, y $m'n'$ del trapecio $mn\,m'n'$. Haciendo las mismas consideraciones para otros planos $p''q''$... comprendidos entre las rasantes rs y tu, tendriamos los mismos resultados y deduciriamos que las áreas de estos perfiles que hemos representado por S, S_1, S_2, S' son proporcionales á las alturas correspondientes del trapecio total $mnm'n'$; luego este representa en magnitud y posicion el volúmen $\frac{1}{2}\,l\,(S+S')$.

Pero si para el volúmen proyectado en efg y representado en magnitud por el triángulo $nn'p$ hacemos la misma construccion, esto es, trazamos las dos secciones intermedias, éstas cortarán á la pirámide proyectada en efg, que tiene ef por base y g por vértice, segun dos áreas que estarán con la de la base en la misma relacion que los cuadrados de sus distancias respectivas al vértice. Luego si representamos por y é y' estas áreas y por x y x' estas distancias, se tendrá

$$\frac{y}{s} = \frac{x^2}{l^2};\ \frac{y'}{s} = \frac{x'^2}{l^2};$$

de donde

$$\begin{cases} y=\frac{s}{l^2}x^2=px^2 \\ y'=\frac{s}{l^2}x'^2=px'^2 \end{cases}$$

lo que nos dice que los valores de y, y'... son los de las ordenadas de una parábola $e'\,h'\,n'$ que tiene el vértice en n' y el eje es la prolongacion de $m'n'$. Por lo tanto, la verdadera representacion en magnitud y posicion de la pirámide proyectada en efg es el triángulo mistilíneo $ne'n'$ y otro tanto diriamos para la otra pirámide proyectada en $e_1\,f_1\,g_1$.

Esto no obstante y teniendo en cuenta el pequeño volúmen de las pirámides antedichas con relacion al de la parte central, se admite para la representacion de las primeras los triángulos rectilíneos, como se ha indicado anteriormente.

37. **2.º caso.**—Tambien hemos visto (6) que la expresion general que dá el volúmen cuando hay línea de paso entre dos perfiles, esto es, cuando uno está en desmonte y en terraplen el otro, es

$$V=\frac{1}{2}S\frac{l'+l''}{2}+\frac{1}{4}T\frac{l'-l''}{3}$$

cuyo valor se trata de representar gráficamente.

Para esto tomemos (fig. 45) desde m hasta n una magnitud que represente el área $abcd=S$ y sobre el eje de las x la distancia $mk=\frac{l'+l''}{2}$ el área del triángulo mnk será $\frac{1}{2}S\frac{l'+l''}{2}$

Despues marquemos nn' igual á la mitad del área del triángulo ade, es decir, igual á $\frac{1}{2}\,T$ y sobre el eje de las x la $m\,k'=\frac{1}{3}(l'-l'')$ refiriendo el punto k' al k'' por una paralela á las y, tendremos el triángulo $nn'k''$, cuya área será

$$\frac{1}{4}T\frac{l'-l''}{3}$$

y por lo tanto el área $mn'k''k$ representa el volúmen total que se busca (a)

(a) Esta representacion no es rigurosamente exacta, y para que lo fuera seria preciso dividir el volúmen que consideramos en dos, por medio del plano $\alpha\delta$, paralelo al perfil. El volúmen $a_1\alpha\delta d_1$ estaria representado por un trapecio y encima uno ó dos triángulos mistilíneos y el

Para la parte en terraplen se sigue la misma marcha, inferiormente al eje de las x.

No obstante lo dicho, en la práctica se adopta un procedimiento más sencillo que da el volúmen que se busca, aunque su posicion varíe un poco de la verdadera. Consiste en tomar bt (fig. 43) igual al área S' del perfil en desmonte y cp, igual á la del que está en terraplen, de modo que uniendo los puntos t y p por una recta los triángulos btb' y cpb', representarán respectivamente los volúmenes en desmonte y terraplen.

38. **3.er caso.**—Cuando uno de los perfiles está en desmonte ó terraplen y el otro á media ladera (fig. 43) como los 3 y 4, podemos suponer que por el punto de paso a de este último se traza un plano vertical y paralelo al eje de la via, el cual dividirá el perfil 3 en dos porciones, cuyas áreas llamaremos t_3 y t'_3. Para representar el volúmen seguiremos la misma marcha que antes; es decir, tomaremos cp' igual á t_3 y la dq igual á t_4; uniendo los puntos $p'q$, el trapecio $cdqp'$, representará el volúmen en terraplen comprendido entre t_3 y t_4. Despues tomaremos cp'' igual al área t'_3, dq' igual al d_4, y uniendo los puntos p'' y q', resultarán dos triángulos cuyas áreas son la representacion de los volúmenes en desmonte y terraplen comprendidos entre t'_3 y d_4; pero como el triángulo $cp''c'$ se superpone en parte al área ya determinada, se evita esto trasladando ésta á la posicion $c'c''pp''$. Así tendremos representado el volúmen en terraplen por el área $cdqc''p$, y el de desmonte por la $c'q'd$.

39. **4.° caso.**—Estando á media ladera los dos perfiles, como sucede á los 4 y 5, se descompone el volúmen total en tres por medio de los dos planos $\alpha\beta$ y $\gamma\delta$ paralelos al eje. El comprendido entre las áreas d_4 y d_5 se encuentra todo en desmonte y se obtiene como se ha dicho en el primer caso, siendo su representacion el área del trapecio $\alpha'sed$; el correspondiente á las áreas t_4 y t_5 está todo en terraplen y tiene para su representacion el trapecio $\beta'edq$; por último, el proyectado en $\alpha\beta\gamma\delta$ está parte en desmonte y parte en terraplen, y para representarle tomaremos

---

$\alpha\delta\beta$, lo estaria por otro triángulo tambien mistilíneo; de modo que el área total apareceria limitada por una línea horizontal, otra vertical y dos arcos de parábola. Sin embargo, en las aplicaciones se admite la representacion indicada en el texto.

respectivamente $\beta' s'$, igual á t'_5 y $\alpha' q'$, igual á d'_4 formando los dos triángulos $\alpha' q' d'$ y $\beta' s' d'$, que para evitar superposiciones se trasladan sus vértices á d'' y d_1.

40. **Observacion.**—Se ve por lo expuesto que aunque estas representaciones no siempre son completamente exactas en cuanto á su posicion, el error que se comete es bastante pequeño, si se tiene en cuenta que esta posicion sirve para determinar las distancias de trasporte, como ya hemos dicho. Pero en cambio dan á conocer desde luego el volúmen de los movimientos de tierra que hay que ejecutar, y la distribucion más conveniente que de ellos puede hacerse, á fin de que resulte la obra con la mayor economía posible, con arreglo á lo que se dirá en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO IV.

Ejecucion de las obras de tierra.

41. **Partes de que consta.**—Conocidos ya los medios por los cuales se determinan los volúmenes en desmonte ó terraplen que hay que practicar para sustituir á la superficie primitiva del terreno la que se desea, con arreglo á la obra que se trata de realizar, entremos ahora en el exámen de los medios materiales más convenientes para la ejecucion de estos trabajos. En todo movimiento de tierras hay que verificar tres operaciones principales, que son: 1.º su extraccion ó desmonte del lugar en que se encuentran; 2.º, su conduccion ó trasporte al punto en que se han de emplear, y 3.º, su depósito ó colocacion en el mismo.

Estudiemos separadamente cada una de estas operaciones.

ARTÍCULO I.

Ejecucion de los desmontes.

La ejecucion de los desmontes exije el empleo de útiles ó máquinas muy diversas y dependientes de la mayor ó menor cohesion del terreno ó del sistema adoptado en los trabajos. Pero como el exámen detallado de unos y otras no tendria aquí

objeto, nos limitamos á presentar los procedimientos más convenientes y usuales en cada caso.

42. **Desmontes en tierra: Herramientas.**—Cuando se trata de desmontar tierras flojas, poco compactas y sin cohesion, como la tierra vegetal, la turba, arena suelta y algunas arcillas y margas, se hace uso de la *pala*. Este útil se compone de una lámina de hierro de unos 0,^{m}30 de lado por 0,^{m}003 de espesor con un cubo *c* (fig. 46) donde se sujeta el extremo del mango de madera, que suele tener un metro de largo. Con el fin de facilitar la entrada de la hoja á través de las tierras, se redondea, segun se indica en la fig. 47, su borde inferior que debe estar acerado en un ancho de unos 0^{m},05, y con el objeto de que el operario aplique con más facilidad su esfuerzo al introducirla en las tierras y pueda despues arrojar éstas á cierta distancia, se reduce la longitud del mango á 0,^{m}70 ó 0^{m}75 y se termina superiormente con una muleta ó un ojo, como se ve en la misma figura, que representa una pala inglesa cuya hoja tiene además la forma más conveniente para su fácil introduccion entre las tierras y las gravas.

Si en lugar de estar el mango casi en el mismo plano de la hoja, formara con ésta un ángulo agudo (fig. 48) entonces se tiene la *azada*, cuya hoja es tambien de forma bastante variable y cuyas dimensiones son algo mayores que las de la pala. El *azadon* y el *legon* no son otra cosa que azadas mayores que las ordinarias y de formas diversas. Estas herramientas, que actúan por percusion, se emplean cuando el terreno es de la naturaleza señalada en el caso anterior, pero de alguna más consistencia para que no se pueda desmontar tan fácilmente con la pala. En algunas circunstancias se emplea tambien para desmontar esta clase de terrenos el arado, que rompiendo la agregacion de la masa permite cargarla desde luego con las palas.

El *zapapico* consta de una pieza de hierro de 0,^{m}60 á 0,^{m}70 de longitud que termina por uno de sus extremos en punta, y por el otro en bisel ó filo: tiene en su parte central un ojo por el que entra el extremo del mango ó ástil que suele ser de 0,^{m}80 á 0,^{m}90 de largo. Las formas más usuales de este útil, que actúa por percusion, están representadas en las figuras 49 y 50: se emplea para desmontar gravas y arenas cementadas con ar-

cillas, tierras arcillosas fuertes, margas consistentes, etc., y se trabaja con el extremo en zapa ó en pico, segun sea menor ó mayor la dureza del terreno.

La misma aplicacion, aunque para tierras de mayor consistencia, tiene el *pico* (fig. 51) que se compone de una pieza de hierro de unos 0,ᵐ50 de longitud terminada en punta por un extremo y en ojo por el otro, al que se sujeta el mango de 0,ᵐ70 de largo.

Demás está decir que los extremos de estos útiles que atacan al terreno deberán estar acerados en una extension de 0,ᵐ65 á 0,ᵐ10 por lo ménos.

En ciertos casos de terrenos compactos se pueden desprender trozos más ó ménos grandes por medio de *cuñas* de madera, que están reducidas á un madero cilíndrico como de un metro de altura y de 0,ᵐ12 á 0,ᵐ15 de diámetro, el cual (fig. 52), lleva en la parte superior un cincho de hierro para que no se hienda al golpearle con *mazas*, y termina por el otro extremo en una punta revestida tambien de hierro. Para verificar el desmonte se empieza por practicar una zanja estrecha y bastante profunda *abcd*, y á cierta distancia de los bordes se clavan varias cuñas separadas entre sí de dos á tres metros, las que golpeadas simultáneamente producen el desprendimiento del macizo *cdf*. Si se quiere aumentar el efecto producido se practica con el pico un rebajo *e* en el fondo de la zanja y clavando las cuñas en los puntos convenientes tiene lugar el desprendimiento segun la superficie de separacion *es*. Si en sentido perpendicular al plano de la figura presenta una gran longitud el macizo que se trata de desprender, se divide éste en varias zonas por medio de otras zanjas en direccion normal á la *abcd* y se vá verificando el desprendimiento de cada uno de estos macizos parciales.

Cuando en los terrenos de que se ha hecho mencion se encuentran algunos cantos rodados que por sus dimensiones sea necesario partir, se hace uso con este objeto de marras ó grandes martillos de hierro con mango de madera, ó en último caso se apela al empleo de los petardos.

43. **Escavadoras.**—Por más que sean estos los procedimientos más generalmente empleados en las escavaciones en tierras, hay sin embargo, circunstancias en las que, ya por la impor-

tancia de la obra, ya por el impulso y rapidez que deba darse á los trabajos, es preciso apelar á medios más poderosos, llenando esta necesidad las máquinas llamadas *escavadoras*. Aunque muy variables en sus formas y disposiciones, lo que impide que se puedan describir aquí ni aun las más empleadas, bastará dar á conocer una para formarse idea de los principios en que se fundan todas las demás.

La representada en la fig. 53, debida á M. Vandenvinne, la cual ha dado buenos resultados en los trabajos verificados en Inglaterra, Bélgica y otras partes, consiste en su principio fundamental en una doble série de piquetas horizontales *ab* unidas á dos vástagos verticales *cd*, que giran en direcciones opuestas, haciendo que aquellas vayan escavando la tierra por delante á medida que la máquina adelanta. Esta consta de dos fuertes bastidores de hierro fundido paralelos y proyectados en *efgh*, que sostienen una máquina de vapor *vv*, la que por una trasmision pone en movimiento á la polea *k*; ésta trasmite á su vez el movimiento á la *l*, la que le produce del mismo modo en la *m* y por último llega á la *n*. La polea *l*, que está en la parte anterior de la máquina, va invariablemente unida á un eje horizontal que en cada uno de sus extremos lleva un piñon cónico, los cuales engranan con dos ruedas cónicas *rr* fijas á los dos vástagos verticales *cd* de que ya se ha hablado.

Las piquetas, unidas á estos dos vástagos, giran en opuesta direccion, y están dispuestas de manera que las de uno atacan y desmontan los espacios que dejan las del otro, y las de cada vástago están colocadas segun las generatrices rectas de un helizóide de plano director, pero del que solo forman una cuarta parte próximamente del paso.

La forma de las piquetas es la de palas fuertes y estrechas, como el extremo en bisel de los zapapicos, que arrojan la tierra horizontalmente hácia atrás en la parte central de la máquina y la recogen y suben los cangilones *pp* fijos á una cadena sin fin, sostenida por dos tambores, uno en la parte superior y otro en la inferior de la máquina, moviéndose el primero por medio de la polea *m* á cuyo eje va unido.

Una vez la tierra en la parte superior, se vierte en el caz *q*, que pudiera prolongarse hasta el extremo posterior de la máquina, pero que en la que describimos está interrumpido, pa-

sando la tierra desde él á otra série de cangilones en mútuo contacto y de forma prismática *ss*, unidos á otra cadena sin fin, dándose movimiento á los tambores que la sostienen por medio de la polea *n*. Así se lleva la tierra escavada á la parte posterior de la máquina y puede verter directamente en los vehículos que hayan de trasportarla. Las cadenas sin fin insisten sobre rodillos de friccion y hay además chapas de hierro convenientemente dispuestas para impedir que la tierra que pueda verterse caiga sobre la máquina y la estropee. Por último, hay una disposicion especial para dar al conjunto movimiento hácia adelante por medio de las ruedas que sostienen la máquina y que insisten sobre un suelo sin fin *tt*: la velocidad de este movimiento puede regularse á voluntad por el aparato mismo.

Las máquinas más pequeñas de este sistema escavan la tier ra en una profundidad de unos 0,m70 dejando el tajo perfectamente terminado y produciendo un trabajo rápido, igual y económico.

44. **Desmontes en roca: Herramientas.**—Despues de lo expuesto acerca de este particular en el conocimiento de materiales, solo hay que advertir aquí que, prescindiendo de la ulterior aplicacion de estos productos y cuando solo se trata de su desmonte, suelen reducirse á un volúmen bastante menor que cuando se los ha de aprovechar en las obras de fábrica, á fin de que su manejo y trasporte pueda tener lugar en análogas condiciones á las de las tierras.

Segun sean la dureza y circunstancias de la roca que hay que desmontar, así se modifican los útiles y el procedimiento de su extraccion. Si aquella presenta poca dureza ó aparece muy agrietada, en cuyo caso el uso de materias explosivas no tendria aplicacion ventajosa, se emplean el pico, las cuñas ó los espeques, aprovechando en cuanto sea posible las grietas naturales de la roca ó practicando rozas de 0,m05 á 0,m08 de ancho en las partes ménos duras. Este procedimiento se emplea, segun se enseña al tratar de la explotacion de canteras, en la extraccion de rocas duras y compactas de mucho precio, como los mármoles y otras parecidas. Si el desmonte se ha de verificar en rocas que presenten bastante dureza y homogeneidad, se hace uso de la pólvora, dinamita y demás sustancias explosivas.

45. **Marcha de los trabajos.**—Para que los desmontes se realicen en el menor tiempo y con la mayor economía posible es preciso llenar la doble condicion de que se puedan establecer simultáneamente los trabajos en muchos puntos y que los operarios ó las máquinas empleadas con este objeto puedan trabajar con completo desembarazo. Claro está que segun sean las circunstancias particulares de cada obra se habrán de adoptar disposiciones especiales para llenar la doble condicion enunciada, y ya que no sea posible ni necesario entrar á reseñar aquí todos los casos que puedan presentarse, examinaremos los más frecuentes é importantes.

De dos maneras distintas se verifican los desmontes en las vías de comunicacion, y se conocen con los nombres de *por compensacion* y *por préstamos y caballeros.*

46. **Desmontes por compensacion.**—Cuando se adopta la primera, se empieza atacando el desmonte por ambos extremos, á cuyo fin se establece en cada uno una cuadrilla de operarios que, puestos en fila normalmente al eje de la vía y distando entre sí 1,^{m}50 próximamente, comienzan por desmontar el prisma que tienen delante *abc*, *aa* (fig. 54). Cuando la altura *bc* del tajo es bastante grande para que no pueda seguirse en buenas condiciones el trabajo, lo que suele suceder cuando llega á 1,^{m}60, pasa la cuadrilla á desmontar el prisma *bde*, *bb*, y así continúa hasta llegar á la parte más alta del desmonte. A uno y otro lado de estos prismas se dejan unas rampas del ancho suficiente para poder verificar por ellas el trasporte de los diversos prismas desmontados á la parte inferior. Este sistema se adopta cuando el producto de los desmontes se emplea en la formacion de los terraplenes contiguos, como sucede en el caso que estamos examinando.

Una vez verificado el desmonte de los prismas triangulares antedichos, se prosigue la misma operacion con los cuadrangulares inferiores *bcmd*, *defn*,... continuando de esta manera hasta llegar á la rasante *aa* de la vía y cuidando siempre de dejar á los costados las rampas de que se ha hecho mencion, para el trasporte de los prismas correspondientes.

Es fácil reducir el tiempo invertido en el desmonte que se considera si se establecen dos ó más cuadrillas en lugar de una sola, las cuales, en vez de ir desprendiendo sucesivamente los

diversos prismas, pueden trabajar simultáneamente empezando en varios puntos, como el *a*, *e* y *g*. En este caso debe tenerse en cuenta que la distancia horizontal de una cuadrilla á otra debe ser la suficiente para que no se embaracen en las diversas operaciones que tienen que practicar: así, por ejemplo, cuando la cuadrilla que ha empezado en *e* llegue con el tajo á *f*, la que ha empezado en *g* deberá llegar á un punto *h*, tal, que en el espacio *gh* puedan trabajar los operarios encargados del desmonte y los vehículos que han de cargar y trasportar éste á las rampas laterales de salida. Si cambia la dureza de estos diversos prismas se aumentan en los más resistentes los medios de accion, ya poniendo mayor número de trabajadores, ó ya destinando los más activos, á fin de que el adelanto en el desmonte de todos los prismas sea lo más uniforme posible.

Estas breves consideraciones bastan para determinar en cada caso la separacion que debe existir entre las diversas cuadrillas y el número de las que pueden establecerse.

Si la vía de comunicacion va á media ladera (fig. 55) se sitúa la cuadrilla en la línea de paso *aa* y se procede al desmonte en las mismas condiciones que cuando dicha línea era trasversal. Como ahora la distancia del trasporte de las tierras es muy pequeña, basta generalmente un tiro de pala, ó á lo más la espuerta, para ir formando el terraplen con los productos del desmonte contiguo.

Haciéndose el movimiento de tierras por compensacion, se puede verificar el desmonte por desprendimiento, como ya se ha indicado más arriba, y con este objeto se empieza desmontando por capas la parte central *abcd* (fig. 56) y despues se desprenden los macizos laterales, que al caer se desagregan más ó ménos, trasportándolos por el plano *cd* hasta llegar á las rampas laterales de salida, por donde se los saca fuera del desmonte.

Muchas veces sucede que la importancia del desmonte es grande y conviene terminarla en un breve plazo, adoptándose entonces disposiciones especiales para aumentar la cantidad de los productos escavados y facilitar su salida, como se verá al hablar de la organizacion de estos trabajos, y á este fin se empieza por escavar paralelamente á la vía un profundo corte, segun se representa en seccion trasversal en la fig. 57, limitado por el contorno *abcd*, estableciendo en su fondo una vía

férrea para la marcha de los vehículos destinados á la extraccion de las escavaciones. Las que se han sacado al verificar el corte referido se depositan provisionalmente, y como se dirá despues, sobre la superficie del terreno, á los lados *ea* y *dh*. Establecida la vía se empieza por cargar en los vehículos estos depósitos y se prosigue la escavacion y carga de los prismas contiguos *abef*, *dcgh*, hasta llegar al plano *fg*. Despues se continúa el desmonte hasta la rasante *rr* de la misma manera seguida en la parte superior.

47. **Desmontes por préstamos y caballeros.**—Cuando tiene lugar el movimiento de tierras por préstamos y caballeros, esto es, cuando los productos del desmonte no se destinan á formar los terraplenes, sino que se depositan á los costados de aquel, formando caballeros, entonces hay que modificar algo el sistema de ejecucion y sustituir las rampas laterales, que daban salida á los productos escavados hácia el terraplen, por otros medios que faciliten la extraccion y colocacion de dichos productos á los costados del desmonte, como indica en seccion y proyeccion horizontal la fig. 58.

El sistema que generalmente se adopta en este caso consiste en desmontar desde los bordes *a* y *b* el prisma *abc*, de tal manera que los planos *ac* y *cb* tengan una inclinacion de 8 por 100, á fin de poder trasportar por ellos los productos en carretillas; despues se abren zanjas trasversales á la vía, *a'b'*, *A'B'*, del ancho necesario para establecer las máquinas que hayan de elevar los productos ó cualesquiera otros medios que se establezcan con este objeto, y separadas unas de otras 25, 30 ó más metros, segun sea la importancia del desmonte y la mayor ó menor rapidez que se quiera imprimir á los trabajos. Hecho esto, se prosigue desmontando los prismas comprendidos entre las zanjas y extrayendo por ellas los productos, hasta llegar al plano *de*; y por último, se continúa desmontando del mismo modo la parte inferior *edfg*, abriendo primero las zanjas y sacando por ellas los productos de los prismas intermedios, hasta llegar á la rasante *fg*.

Si es horizontal próximamente la seccion trasversal del suelo en que se verifica el desmonte, se pueden establecer los caballeros á ambos lados de éste, y en tal caso los medios de extraccion que se colocan en las zanjas trasversales se sitúan

alternados á derecha é izquierda del desmonte; así es que en la figura se colocaria uno en *a'*, otro en *B'* y así sucesivamente. Esta disposicion es necesaria en el caso de presentar el desmonte bastante profundidad y emplearse para su extraccion en vez de máquinas un escalonado, como se indica en la figura, en cada uno de cuyos escalones, que tienen una altura de $1,^{m}65$ próximamente, se coloca un hombre que puede subir los desmontes cogiendo la espuerta llena que le deja el que está en el escalon inferior y pasándola al superior; ó bien con la pala, echando en el escalon superior la tierra que ha recogido en el suyo.

Pero si la inclinacion trasversal del suelo es algo marcada, conviene generalmente no establecer los caballeros más que en la parte aguas abajo del desmonte, y en tal caso y suponiendo que el borde *b* de la figura esté más bajo que el *a*, se empiezan los trabajos desmontando el plano *bc* hasta que encuentre en *h* al talud opuesto, y prosiguiendo en lo demás como se ha dicho anteriormente, con la única diferencia de verificar la extraccion de todos los productos por el borde más bajo, que en este caso seria el *b*.

No es conveniente verificar el desmonte por desprendimiento cuando los productos se tienen que depositar en caballeros, porque el prisma al caer hace que aumente la altura á que despues hay que elevarle para su extraccion. Solo en el caso en que el aumento de gasto que ocasiona esta mayor altura esté compensada por la economía que se obtenga en el desmonte, se podrá adoptar el desprendimiento. Tambien conviene, sobre todo cuando se emplean máquinas para la extraccion, dividir la altura total del desmonte en pocas capas, con el fin de no tener que cambiar con frecuencia la posicion ó las condiciones de trabajo de aquellas.

Algunas disposiciones particulares se adoptan en la ejecucion de los desmontes de mucha importancia, de las que nos ocuparemos al tratar en general de la organizacion de los trabajos en los movimientos de tierras.

48. **Precio de los desmontes.**—Este varía de una localidad á otra y depende en cada punto de las circunstancias especiales que puedan hacer subir ó bajar los jornales de los operarios, ó el valor de las máquinas empleadas en la escavacion. Sin em-

bargo, estos datos se conocen en cada lugar para una época dada, y entonces el precio depende principalmente del tiempo invertido en la escavacion de cada metro cúbico, tiempo que varía con la naturaleza del terreno y los medios de ejecucion. Solo por experiencias directas se puede conocer el tiempo de que se trata en cada circunstancia particular; pero se han deducido términos medios aplicables á la generalidad de los casos y son los que aparecen en el siguiente cuadro:

Cuadro del número de metros cúbicos que puede extraer un operario en 10 horas de trabajo.

CLASE DE TERRENO.	NÚMERO de metros cúbicos.	CLASE DE TERRENO.	NÚMERO de metros cúbicos.
Tierra ordinaria........	14	Margas................	5
Idem franca muy ligera.	12	Toba ordinaria.........	3
Idem id. ordinaria......	11	Idem mezclada con piedras................	2
Arena ó grava suelta....	10	Roca saltada con pólvora.	1,8
Turba ó fango.........	6,7	Toba con mucha grava..	1,7
Arcilla, greda.........	6,7	Toba petrificada.......	1,5
Grava muy compacta...	6		

Con los datos consignados en este cuadro, y sabiendo el precio del jornal de los operarios, es fácil deducir el coste de la escavacion del metro cúbico en cada clase de terrenos; debiéndose advertir que al importe obtenido de esta manera es necesario añadir un 5 ó 6 por 100 por el desgaste ó reparacion de las herramientas. En el caso de emplearse máquinas escavadoras, se tiene en cuenta, no solo el importe de los jornales de los operarios empleados y el del combustible, engrasado, reparaciones, etc., sino además el valor correspondiente al interés y á la amortizacion del capital gastado en su compra, para lo cual se deberá apreciar la duracion probable de la máquina y el número de dias de trabajo anual: la relacion entre todas estas cantidades y el número de metros cúbicos extraidos, dará el precio de cada uno de éstos.

49. **Aumento de volúmen.**—El volúmen de los desmontes se aprecia en el terreno antes de verificar la escavacion, porque despues de realizada, los productos escavados ocupan un espacio bastante mayor que antes, lo que podria conducir á errores de importancia si no se tuviera en cuenta este aumento. Resul-

ta de observaciones directas que un metro cúbico de escavacion produce aproximadamente despues de extraido los volúmenes de desmonte consignados en el siguiente cuadro:

NATURALEZA DE LOS TERRENOS.	VOLÚMEN DE LA ESCAVACION.	
	Sin compresion, y medida cinco dias despues de escavada	Comprimida al máximo con pisones ó con agua.
	Metros cúbs.	*Metros cúbs.*
Tierra vegetal de varias especies (aluviones, arenas)...................	1,10	1,05
Tierra franca muy grasa............	1,20	1,07
Tierra margosa y arcillosa bastante compacta..........................	1,50	1,30
Tierra margosa y arcillosa muy compacta y muy dura.................	1,70	1,40
Tierra gredosa......................	1,20	1,10
Toba dura ó medianamente dura.....	1,55	1,30
Roca desmontada á barrenos........	1,65	1,40

ARTÍCULO II.

Medios de trasporte.

El trasporte de los productos de las escavaciones se verifica en vehículos ó medios especiales que se ponen en movimiento por un motor animado, la accion del vapor ó la gravedad, y consta esta operacion de otras tres partes distintas que son: la *carga* la *conduccion* y la *descarga*.

Antes de que pasemos adelante, conviene conocer la clase de vehículos y medios de trasporte más generalmente empleados, para deducir las circunstancias en que se verifican estas operaciones, por cuya causa empezaremos por su descripcion.

50. **Espuertas y serones.**—Se emplean para la conduccion de los desmontes en los países montañosos, donde los caminos que hay que recorrer tienen pendientes tan rápidas que no es posible adoptar otros medios.

La primera, que es bien conocida de todos, consiste en una cesta con dos asas laterales, fabricada con junco ó esparto y con una capacidad aproximada de 0,01 á 0,015 de metro cúbico: el operario la coge despues de llena y la carga sobre el hombro, la cadera ó el muslo para trasportarla. El seron se forma con dos grandes espuertas, hechas como se ha dicho, y unidas en-

tre sí, que se cargan á una caballería menor, pudiendo contener en total un volúmen de unos 0,08 de metro cúbico.

Puede considerarse la pala como otro medio de trasporte para distancias muy pequeñas, puesto que al coger con ella el operario las tierras, gravas ó productos del desmonte, puede arrojarlos desde luego hasta 4 metros de distancia horizontal ó bien de 1,60 á 2 metros de altura.

51. **Carretillas.**—Este medio de conduccion, imaginado por Pascal, y que tan generalizado está en el dia, es el que más se emplea para distancias no muy considerables. Consiste en una caja de madera *abcd*, *a'b'c'd'* (fig. 59, lám. 4), con mucha inclinacion en las paredes y unida á dos *varas ef*, *e'f'*, cuya mútua posicion se hace invariable por medio de travesaños *tt* y de varillas de hierro. En uno de los extremos de estas varas hay un eje, que forma cuerpo con la rueda *rr'*, y en el otro están adelgazadas, á fin de que el operario pueda coger la carretilla y ponerla en movimiento. Hay por último dos piés *p*, *p'* ensamblados á las varas, que no solamente refuerzan las paredes laterales de la caja, sino que sirven para que ésta conserve la posicion conveniente mientras se carga la carretilla.

Se consolida la union de la caja con las varas por medio de las piezas de refuerzo *ss*. La rueda tiene de 0,^{m}45 á 0,^{m}50 de diámetro y suele ser de madera con llanta de hierro ó toda de hierro, adoptándose en el primer caso una llanta de seccion rectangular con un ancho de 0,^{m}05, y teniendo en el segundo 0,^{m}025 de ancho, presentando una seccion redondeada y convexa al exterior, con el objeto de separar la tierra y las piedras pequeñas que encuentre á su paso, facilitando así el movimiento. El eje de la rueda gira, no en las varas, sino en dos tacos *m*, unidos á ellas, que se renuevan cuando el desgaste lo hace necesario. Tambien se consolida la posicion de los dos piés con las piezas *nn* que los sujetan á las varas, y se mantiene constante su separacion por medio de la varilla angular *qq*.

Esta carretilla, llamada *inglesa* y que suele poder trasportar un volúmen de tierra de 0,03 á 0,05 de metro cúbico y alguna vez mayor cantidad aún, tiene la ventaja de que el centro de gravedad de la carga está muy bajo y cerca de la rueda, aliviando así el peso que sostienen los brazos del operario cuando la conduce. Tambien la tiene de que basta inclinarla

lateralmente unos 45° para que se descargue por completo, lo que puede verificarse, aun marchando sobre un tablon no muy ancho, con solo subir el operario una de las varas. Las carretillas ordinarias, que se diferencian principalmente de las anteriores en que las paredes de la caja están casi á ángulo recto con el fondo, no presentan las ventajas enumeradas, y son por lo tanto de ménos útil aplicacion.

Las carretillas de madera se deterioran con bastante rapidez y no suele exceder su duracion de 2.000 metros cúbicos trasportados á 30 metros de distancia; asi es que se ha tratado de aumentarla, reemplazando el hierro forjado y el palastro á la madera; pero á fin de que no crezca mucho el peso propio de la carretilla, se han reducido algo las dimensiones exteriores, aunque puede conducir el mismo volúmen de tierra que las de madera y hasta $^1/_3$ y $^1/_2$ más. Estas carretillas, cuyas varas son de hierros de seccion en T, á las que se roblona la caja de palastro de $0^m,001$ de espesor, se refuerzan en los puntos convenientes con cantoneras y tornapuntas. Los piés son de la misma clase de hierros que las varas, y los extremos de éstas, que sirven de mangos, se hacen de madera. La rueda es de hierro forjado y se compone de una llanta y de rayos de seccion rectangular que se encorvan y ensamblan entre sí y con la llanta, empotrándose sus extremos en el cubo: los extremos del eje giran en dos piezas de fundicion colocadas en las varas.

Aunque de mucha más duracion estas carretillas que las de madera, vienen á costar casi doble, siendo poco diferente el peso propio de unas y otras.

52. **Carros.**—El vehículo de dos ruedas que más se suele emplear en la conduccion de las tierras á alguna distancia, es el carro, que consiste en su parte esencial en una caja parecida aunque mayor que las de las carretillas ordinarias, sostenida por un bastidor, el cual se apoya en el eje que lleva las dos ruedas. Los lados mayores del bastidor se prolongan por un lado de la caja, formando las dos varas, entre las que se coloca la caballería que produce el movimiento: si son dos ó más las caballerías se ponen una detrás de otra ó á reata.

La caja *abcd* (fig. 60) consta del fondo y de tres paredes perfectamente ligadas, con los refuerzos necesarios, pudiéndose quitar y poner la cuarta, que está formada por un tablero

corredizo á lo largo de dos ranuras verticales que se forman en las paredes contiguas por medio de listones: la pared móvil se encuentra proyectada en *cd* y se ve de frente en la fig. 61. Tiene por objeto esta disposicion facilitar la primera parte de la carga del carro, puesto que entonces, habiéndose quitado la pared móvil ó *tablilla*, no hay que elevar los productos que se cargan más que hasta el fondo de la caja próximamente; despues se coloca dicha tablilla y se eleva el resto de la carga por cima de su borde superior: tambien facilita la descarga, para lo cual se empieza por quitar la tablilla y luego se inclina lo necesario hácia atrás el fondo de la caja.

El borde superior de las paredes de la caja no debe estar á más de $1^{m},65$ de altura, á fin de que la carga, tanto á pala como con espuerta, pueda hacerse en buenas condiciones: si bien en algunos casos es mayor esta altura por la parte anterior, debe cuidarse siempre de que esté próximamente el centro de gravedad de la carga en el plano vertical que pasa por el eje de las ruedas. Una fuerte barra de hierro forjado, sólidamente unida por la parte inferior á los largueros del bastidor y excediendo algo su longitud á la separacion de éstos, es lo que constituye el eje. Los extremos excedentes de éste, que están torneados y sirven de muñones, entran en los ojos de los cubos de las ruedas, impidiendo por medio de una chaveta colocada al exterior que estas se salgan.

En los carros ordinarios las varas son prolongacion de los largueros del bastidor; pero esto presenta el inconveniente de tener que desenganchar la caballería para poder inclinar la caja hacia atrás y descargarla. En su lugar se ha hecho de modo que la caja pueda girar sin que tengan que hacerlo las varas, y con este objeto se coloca cada una de éstas al costado de su respectivo larguero, hallándose ambas atravesadas por un perno que permite al descargar el giro al rededor del punto *rr*, segun representa la figura, en la que para mayor claridad se ha trasportado á una posicion paralela á la primitiva la vara *vv*. Pero para que no tenga lugar el giro de la caja durante la conduccion, van provistas, tanto la vara como el larguero de cada lado, de un ojo ó estribo de hierro que se corresponden durante la marcha, y atravesando todos con un palo ó barra de hierro se impide todo movimiento. Para fijar la posicion de las varas en-

tre sí existe un travesaño *t* que se ensambla con ellas y se sujeta con los estribos correspondientes á las mismas. Las ruedas, que suelen tener de 1,^{m}50 á 1,^{m}70 de diámetro, se hacen con madera dura y tienen una fuerte llanta de hierro de 3 centímetros de grueso por 8 ó 10 de ancho. Estos carros reciben el nombre de *volquetes*, y son de un uso muy general en las obras.

Segun sea la energía y el número de caballerías que tiren de un carro, asi varía el volúmen de tierras que éste debe conducir, y por consecuencia las dimensiones de la caja. Se puede admitir como valor general en nuestro país y teniendo en cuenta la fuerza de los motores usualmente empleados, que un carro con una caballería mayor conduce un volúmen de 0,50 metros cúbicos; con dos, de 0,80 á 0,90 y de 1,20 á 1,30 con tres, que es el mayor número que puede emplearse en buenas condiciones.

53. **Carretas, cangrejos y carretones.**—Entre las variantes de carros con dos ruedas que se emplean en el movimiento de tierras, bastará indicar aquí los que tienen más frecuente aplicacion y reciben los nombres de *carretas, cangrejos y carretones*. La primera puede tener una caja como la de los carros ó simpletamente el fondo de la misma; pero en ambos casos se distingue de éstos en que tiene, en vez de las dos varas laterales, una central ó *lanza*, que se prolonga hasta la parte opuesta del vehículo y que está ligada á los largueros del bastidor por los travesaños necesarios. A uno y otro lado de la lanza se uncen los motores, que generalmente son bueyes. Debe cuidarse de que la lanza, al contrario de lo que sucede con los largueros, no se apoye sobre el eje, porque de lo contrario la carga superior actuaria principalmente en el punto medio de éste y fácilmente podria perjudicarle y hasta romperle. En muchas carretas el eje está invariablemente unido á las ruedas, girando con estas, y entonces hacen el papel de muñones las partes de aquel que están en contacto con los largueros, segun se hace de una manera más perfecta en los wagones, como se verá más adelante.

El cangrejo tiene empleo más frecuente en el trasporte de sillares y grandes mampuestos para las obras de fábrica; pero tambien se suele aplicar en la conduccion de las grandes piedras sueltas que muchas veces se encuentran en los desmontes. Consta (fig. 62) de un bastidor de 1,^{m}60 por 1,^{m}00 próximamente, revestido con fuertes tablas, cuya cara superior se re-

fuerza á veces con varios flejes de hierro, sostenido por un eje y dos ruedas pequeñas que no suelen pasar de 0,m75 á 0m80 de diámetro. Tiene una lanza, como las carretas, atravesada por uno ó dos listones de madera ó barras de hierro *hh* y sobre los que actúan otras tantas parejas de hombres que, unidos á uno ó más que empujan por la parte posterior, ponen en movimiento el vehículo. En el extremo de la lanza hay un fuerte gancho para poner en caso necesario una ó varias caballerías que ayuden á los operarios, y se facilita en muchos casos la carga, dada la poca altura de las ruedas, con solo inclinar hácia atrás el tablero. Este conviene que tenga una altura algo superior á las ruedas para que no tropiecen con los materiales trasportados, lo mismo en la marcha que durante la carga y la descarga.

Un vehículo parecido á este, aunque no tan fuerte, con las ruedas algo mayores y con una caja sobre el tablero, de 0,m20 de capacidad, es lo que constituye un carreton, que siempre va movido por una pareja de hombres en la lanza y uno ó dos por detrás.

54. **Wagones.**—Los wagones que se emplean en el trasporte de tierras son vehículos que marchan generalmente sobre vías férreas provisionales, aunque alguna vez son definitivas, y constan de la caja, sostenida por un bastidor, y de dos ejes con cuatro ruedas. La caja es de ordinario movible alrededor de un eje de rotacion convenientemente situado, que permite inclinarla hácia adelante ó á los costados para verificar la descarga. Estos wagones deben ser de una construccion sólida y sencilla para que no exijan frecuentes reparaciones y en armonía con el servicio á que se los destina.

Las principales condiciones que deben llenar estos vehículos son: 1.ª Que el borde superior de la caja no esté á más de 1,65 del suelo, á fin de facilitar la carga. 2.ª Que la caja se incline al verter, formando su fondo un ángulo que no baje de 45°, para que se desprendan las tierras húmedas. 3.ª Repartir en lo posible el peso con igualdad entre las cuatro ruedas. 4.ª Distribuir el peso de la caja cargada de modo que haya como una treintena de kilógramos ménos del lado del eje por donde se descargan las tierras, á fin de que aquella no sufra oscilaciones durante la marcha ni tienda á volcarse: 5.ª Hacer las ruedas

de un diámetro bastante grande para que pasen fácilmente por encima de las piedrecillas que muchas veces obstruyen la vía. Y 6.ª Que al descargar se lance la tierra á cierta distancia del wagon.

Siendo muy variables las formas y disposiciones adoptadas para estos vehículos, será conveniente, antes de entrar en la descripcion de los tipos más usados, examinar las partes principales que son comunes á todos.

55. **Caja.**—La caja afecta la forma de una pirámide cuadrangular truncada é invertida *abcd* (figs. 63 y 64) presentando una de las paredes mayor inclinacion que las otras tres. Las tablas que forman las paredes se colocan de canto, horizontalmente, segun su longitud, y las del fondo se sitúan de modo que su largura esté en la direccion en que se verifica la descarga, cuidando siempre de evitar en el interior de la caja toda saliente originada por cabezas de pernos ó tuercas de los refuerzos exteriores y que pudieran dificultar la completa descarga de las tierras.

La pared móvil, que se llama *portezuela*, no es independiente como la tablilla de los carros, sino que lleva en su borde inferior unas visagras que encajan con otras que van en el bastidor, formando así el eje de giro. Para mantenerla levantada se adoptan varias disposiciones, de las que una es la representada en proyeccion y seccion verticales por las figuras 65 y 66, y consiste en dos refuerzos de hierro *hh* con un piton *p*, que hace las veces de pestillo, al que sujeta la hembrilla de hierro *q*, giratoria al rededor de *r*; de modo que, levantando la hembrilla se abre la portezuela girando al rededor de *v*, *v′v′*. Otra disposicion es la que aparece tambien en proyeccion y seccion verticales en las figuras 67 y 68, siendo *bb* una barra giratoria al rededor de *r*, en forma de arco de círculo, con una nariz en la parte cóncava, como se vé en la posicion representada por trazos, y que entra en la grapa *gg*, fija en las paredes contiguas á la portezuela; levantando la barra *bb* lo bastante para que pueda pasar la nariz por la grapa, se abre la portezuela hasta que la uña saliente en que termina la barra tropiece con la misma grapa, y se cuida de que el desarrollo de aquella sea lo suficiente para que en aquel momento resulte el plano de la portezuela en prolongacion del fondo de la caja. Es preferible la se-

gunda solucion, porque asi se lanzan á mayor distancia las tierras trasportadas y no queda la portezuela colgada y oscilando, expuesta á choques y deterioros, como sucede con la primera.

A un bastidor inferior de forma rectangular, compuesto de dos largueros *gg* y dos ó más traveseros *hh* (fig. 63) se une convenientemente el fondo y las paredes de la caja. Por la parte inferior de los primeros, ó interponiendo alguna pieza de madera para dar á la caja la altura conveniente, se fijan dos piezas de hierro fundido *nn*, cuya seccion vertical es en forma de T con un taladro en su placa vertical, á través de la cual, y de dos placas tambien verticales que tienen otras dos piezas inferiores *mm*, igualmente de fundicion, y que constituyen los *coginetes*, pasan dos pernos que sirven de eje de rotacion de la caja.

56. **Bastidor.**—Las dos piezas *mm* se fijan sobre un fuerte bastidor, compuesto de dos largueros *pp*, *p'p'* y dos traveseros, que se refuerzan en su union con cantoneras de hierro y á veces se consolida el sistema con cruces de San Andrés y tirantes que van de un larguero á otro. La union de cada wagon con el contiguo se verifica por medio de cadenas fijas á los largueros, que son los que resisten los choques de unos vehículos con otros, razon por la que deben presentar mucha resistencia y se refuerzan sus cabezas con abrazaderas de hierro. A la parte central, y paralelamente á los largueros, se fija un tirante de hierro terminado en gancho, al cual se unen las caballerías cuando se emplea este motor, como se verá despues, y se le fija de modo que refiera á los largueros los esfuerzos de traccion que tiene que esperimentar; pues de lo contrario sufririan mucho los traveseros, y se deterioraria el conjunto del bastidor.

El sistema de enganche de las caballerías á los wagones debe satisfacer á la condicion de que dejen libre al vehículo en un momento dado durante la marcha, para poder separar desde luego el motor y efectuar la descarga. La disposicion más usual, representada en la fig. 69 consiste en la palanca de madera *ab*, á la que se enganchan los tirantes de la caballería, en la parte central de la cual hay un gancho giratorio en *c* y un resorte *r* que tiende siempre á abrirle. Cuando la hembrilla *h* giratoria en *c'* está puesta, como aparece en la figura, el gancho no puede abrirse á pesar del resorte; mas apenas se quita la hembrilla, tirando de la cuerda *d*, se abre el gancho por la ac-

cion del resorte y del vehículo, pudiéndose entonces desprender el motor.

57. **Cajas de grasa.**—Las cajas de grasa son las piezas de union entre el bastidor y los ejes de las ruedas, y tienen por objeto permitir que los últimos giren sirviendo de apoyo al bastidor, pero sin deteriorarle. Consisten en una pieza de hierro fundido de forma variable, de la que dá exacta idea en proyeccion vertical la fig. 70 y en proyeccion y seccion horizontales las *B* y *A* de la 71: esta caja se une por medio de pernos á los largueros del bastidor. La superficie cilíndrica *ab* de la caja, debe tener un diámetro algo mayor que la parte torneada del eje sobre que insiste, y cuando se desgaste esta superficie cóncava hay que retocarla y ensancharla con objeto de que las paredes laterales no rocen con el eje y no caldeen la caja. Para disminuir en todos los casos el rozamiento, hay en la parte superior de esta pieza una cavidad *cc*, que se llena de grasa, la que va cayendo por dos pequeñas aberturas cilíndricas, extendiéndose luego entre las superficies de contacto del eje y de la caja; y con objeto de evitar que estas dos partes puedan separarse, se coloca la placa inferior *p*, atornillada á la última.

Conviene tener mucho esmero en la conservacion de estas cajas, poniendo trozos de cuero que impidan la entrada del polvo durante la marcha del wagon, y de cuando en cuando se las debe desmontar y limpiar, bastando para esto lavarlas con agua caliente, lo que disuelve la grasa que queda adherida y desprende los granos de arena.

58. **Ejes.**—Son barras cilíndricas de hierro forjado de buena calidad que se tornean en las dos partes que han de estar en contacto con las cajas de grasa, dentro de las que giran como mangas ó muñones, y que se fijan á las ruedas de una manera invariable, como se verá despues.

Los dos ejes de un wagon deben ser paralelos; y al contrario de lo que pasa con los de los carros ordinarios, solo se ligan al bastidor por las cajas de grasa, como se ve en las figuras anteriores, y giran con las ruedas, á las que están invariablemente unidos.

59. **Ruedas.**—Las ruedas de los wagones, que suelen tener un diámetro de 0,^{m}50 á 0,^{m}80, son ordinariamente de hierro fundido, y tienen un espesor en la llanta de 0,^{m}10 próxima-

mente. Hay que cuidar al fundirlas de hacer que el cubo esté dividido en tres partes independientes, para permitir la contraccion posterior de los rayos, y sin cuya precaucion se romperian. Lo más frecuente es que el eje se haga solidario con la rueda por medio de una cuña de hierro *c* (fig. 72), la cual entra en la ranura que cada una de estas piezas posee, y se refuerza la union poniendo un cincho de hierro que abraza y oprime al cubo por la parte anterior y otro igual por la posterior (fig. 71).

La llanta de la rueda está formada por dos superficies distintas: un reborde saliente por el lado interior y una superficie cónica poco marcada por el exterior. El primero tiene por objeto impedir que las ruedas puedan salirse de los carriles de hierro sobre que insisten, de los que nos ocuparemos más adelante, y la segunda evita el resbalamiento que tendria lugar, siendo iguales las ruedas de un wagon, al pasar por una curva; puesto que resultando mayor en tal caso el desarrollo del carril exterior, si la rueda que se apoya en éste no resbala tendrá que hacerlo la otra, que estando invariablemente unida al eje se mueve lo mismo que la primera, y sin embargo, tiene que recorrer distinta longitud. Este inconveniente se evita con la conicidad en la llanta de las ruedas, porque al entrar el wagon en la curva tiende, por la fuerza centrífuga, á aproximarse al carril exterior, que supondremos sea el *B* (fig. 73), y en su consecuencia, el reborde de la rueda *b* se acerca al carril exterior, mientras que el de la *a* se aleja del interior: en virtud de este movimiento el desarrollo de la llanta, segun la línea de apoyo, ha disminuido para la rueda del carril interior, y ha aumentado para la del exterior, cumpliéndose así el objeto de evitar el resbalamiento de las ruedas sobre los carriles. Dicha conicidad es ordinariamente de $^1/_{20}$.

60. **Freno.**—Además hay en los wagones una barra de hierro acodada *ff* (fig. 63) que tiene su punto de giro *r* unido al bastidor, y á cuyo extremo inferior se fija un trozo de madera dura, de tal forma, que se aplique y oprima bien las llantas de las ruedas contiguas cuando se haga girar á la barra; amortiguándose así, cuando convenga, el movimiento del vehículo. Este aparato recibe el nombre de *freno.*

61. **Tipos de wagones.**—Los wagones destinados al movimiento de tierras presentan capacidades y disposiciones varia-

bles con la importancia del trabajo á que se destinan y la distancia que deben recorrer. Los movidos por caballerías á pequeñas velocidades pueden ser más ligeros que los que se conducen con locomotoras y gran rapidez, debiendo en todos los casos presentar la necesaria resistencia al duro trabajo que deben realizar, para que sean lo ménos posible las reparaciones.

En Inglaterra se emplean generalmente wagones como el representado en la fig. 63 que de ordinario vierten por delante; pero se han construido muchos en los que se puede cambiar fácilmente la posicion de los coginetes sobre el bastidor para que viertan de constado (fig. 64). Las ruedas, exteriores al bastidor, tienen 0,m75 de diámetro y poseen mucha resistencia. Se suelen adoptar en los wagones ingleses dos modelos, uno pequeño que no lleva más que 1m,50 á 1,m75 de tierras, y el otro grande que puede contener hasta 3,m10; pero la disposicion de las partes principales y los materiales de que se componen son los mismos para ambos.

La fig. 74 representa un wagon especial en el que el eje de las ruedas delanteras sirve tambien de eje de rotacion de la caja, facilitándose este movimiento por medio de un rebajo *rr* practicado en el extremo de la vía, en el que encajan dichas ruedas, que al detenerse, y en virtud de la fuerza viva adquirida por la caja, se inclina, produciendo la descarga. Este sistema tiene el inconveniente de sobrecargar el eje delantero para facilitar la descarga, y de someter al vehículo á fuertes choques que le deterioran rápidamente.

En Francia y Bélgica se emplean wagones de 3,m30 de capacidad con ruedas de 0,50 de diámetro, colocadas interiormente al bastidor, segun aparece en las figuras 75 y 76, lámina 5. Pueden verter de frente ó de costado, á cuyo fin se cambia á voluntad la posicion de las cajas de grasa y los ejes, como se indica en plano en la primera figura de las citadas.

Se han adoptado otras diversas especies de wagones, distinguiéndose los que tienen la caja insistiendo sobre un pivote central, que la permite verter á voluntad, ya hácia adelante, ya á los costados. Otros están compuestos de dos cajas que vierten á un tiempo á ambos lados y que durante la marcha se sostienen mútuamente por medio de una aldaba ó pasador que une

las dos paredes contiguas de cada caja. En todas estas modificaciones debe sin embargo tenerse muy en cuenta que los vehículos no pierdan su carácter de robustez y sencillez, porque de lo contrario exigirian frecuentes y costosas reparaciones.

Un wagon especial, que ha dado muy buenos resultados en el trasporte de tierras, es el llamado de *Serveille*, nombre de su inventor. Se compone de una caja sostenida por dos ejes que ruedan directamente sobre los carriles (figs. 77 y 78, lám. 4.) Cada eje se forma con dos troncos de cono de hierro fundido, unidos por sus bases mayores, y en cuyos extremos existen muñones de hierro forjado que giran en sus respectivos coginetes: estos se fijan convenientemente al bastidor. En la fig. 79 se ven los detalles del eje y troncos de cono.

62. **Vías.**—Los vehículos de que nos hemos ocupado se mueven en vías que pueden ser ordinarias ó de hierro. Los wagones exigen el establecimiento de las últimas, mientras que los demás marchan sobre las primeras. Estas pueden no tener más ancho que el necesario para el tránsito del vehículo que se emplee, bien sea carro, carretilla, etc.; pero entonces hay que ensancharlas en los puntos en que deban cruzarse los que van con los que vuelven, como se verá más adelante al tratar de la conduccion. Sin embargo, conviene que las vías de trasporte tengan en toda su longitud el ancho necesario para que se crucen dos vehículos, siempre que esto no exija grandes gastos.

Las vías ordinarias deben presentar bastante dureza para que los motores y las ruedas de los vehículos no puedan hundirse durante las épocas lluviosas, como sucede con frecuencia en las arcillas, cuidando en tal caso, si el trasporte tiene lugar con carretillas, de tender tablones, sobre los que se verifica el tránsito.

La inclinacion que pueden tener es variable; pero si el trasporte se ha de hacer en condiciones aceptables no debe pasar de 5 á 7 por 100 para los carros, ni de 8 á 12 todo lo más empleando carretillas. Más adelante se verá la influencia que estas pendientes ejercen en los trasportes.

Las vías férreas se componen de una série de fuertes piezas de madera *mm* (fig. 80) llamadas *traviesas*, que se colocan normalmente á la direccion de la vía y equidistantes entre sí, las cuales tienen por objeto sostener y fijar la posicion de otras pie-

zas de hierro *cc* que cruzan normalmente á las primeras y reciben el nombre de *carriles*, sobre los que insisten las ruedas de los wagones. En el movimiento de tierras se emplea para la construccion de estas vías, bien carriles especiales de forma variable, que se llaman provisionales, bien los mismos que, tratándose de un ferro-carril, han de servir despues de una manera permanente, por lo que reciben el nombre de definitivos. Sin embargo, los primeros son de un empleo más general y conveniente.

La seccion trasversal de los carriles provisionales es muy variable. La fig. 80 representa el caso de ser un fleje de hierro puesto de canto que entra en anchas muescas practicadas en las traviesas, fijando de una manera invariable su posicion por medio de cuñas de madera *aa*. Estos carriles deben tener una seccion suficiente para resistir el peso de los wagones cargados, que suele llegar á 4 y hasta 6.000 kilógramos, poniendo una traviesa de otra á $0,^{m}60$, $0,^{m}80$ ó $1,^{m}00$ de distancia y adoptando un ancho de vía, ó sea la separacion entre las dos filas de carriles, que llega á 1,50, la cual se reduce á veces hasta $0,^{m}30$, como se vé en la fig. 78. Aunque la union de dos carriles contiguos se hace generalmente á junta plana, cuidando de situar debajo una traviesa y sujetando ambos extremos por medio de la cuña de que ya se ha hablado, se pueden unir, sin embargo, si se emplea el wagon Serveille, solapando sus extremos, que se aprietan con la cuña; pues no teniendo reborde la rueda no hay temor de que pueda tropezar con el resalto lateral formado por el solape de los dos carriles. Las traviesas empleadas en esta vía suelen ser rollizos aserrados por la mitad y asentados sobre su cara plana, segun aparece en secciones en la fig. 81.

Este sistema de vía, si bien sencillo, tiene varios inconvenientes. En primer lugar, aunque el fleje resista bien á las cargas verticales, la accion horizontal del reborde de las ruedas produce en ellos una flexion que al cabo de cierto tiempo convierte á la vía en una série de ondulaciones, como se vé en las líneas de puntos de la fig. 80, lo que perjudica al movimiento de los vehículos. Por otra parte, el fleje tiende á introducirse y destrozar la traviesa precisamente en el punto en que más se ha debilitado y donde más resistencia necesita, si bien esto se ha tratado de subsanar haciendo que el carril no insista direc-

tamente sobre la traviesa, sino por el intermedio de una pieza de fundicion que se fija con dos clavos, como se representa en la fig. 82, la que recibe el nombre de *coginete*. Estos inconvenientes y otros que no detallamos, son causa de no emplearse mucho este sistema, fuera del caso en que se usen los wagones Serveille.

Otros sistemas se han adoptado, pero con peor éxito que el descrito; así es que en el dia se prefieren los carriles llamados americanos ó de Vignole, cuya seccion aparece en la fig. 83. Estos carriles, de menores dimensiones que los que con la misma forma y nombre se emplean en los caminos de hierro, se apoyan y fijan directamente sobre las traviesas por medio de dos escarpias y se consolida el empalme de unos con otros, colocando las placas de hierro *bb*, llamadas *bridas* (fig. 84), y dos pasadores. Aunque algo más cara en su establecimiento, tiene esta disposicion la ventaja sobre las demás de su fácil construccion; su solidez por la forma del carril que impide toda deformacion en sentido vertical y horizontal, la menor resistencia que opone á la marcha de los vehículos y la mejor conservacion de sus ruedas.

63. **Cambios y cruzamientos de vías.**—Las vías férreas empleadas en el movimiento de tierras se subdividen en varios ramales cerca del punto de carga y del de descarga, con objeto de que estas operaciones puedan hacerse simultáneamente en dos ó más wagones, lo cual es muy ventajoso para la rapidez y buena organizacion de los trabajos.

Si consideramos la vía *A* (fig. 85) por la cual marcha un wagon ó un tren de wagones en la direccion señalada por la flecha, será preciso que al llegar á los puntos *ab* haya una disposicion ó aparato seguro para dirigirle á la vía *B* ó á la *C*, segun convenga, y esta disposicion recibe el nombre de *cambio de vía*. Pero si suponemos que ha tomado la vía *B* resultará que un carril de ésta se cruza en *O* con otro de la vía *C*, y al medio adoptado para que las ruedas puedan pasar sin tropiezo por este punto se llama *cruzamiento*.

Se adopta como disposicien preferible para los cambios de vía la representada en la fig. 86, lám. 5, que consiste en colocar dos carriles *ab*, *cd*, llamados *agujas*, los cuales giran en los puntos *b* y *d* por un extremo y por el otro están adelgazados;

haciéndose entre sí solidarias estas agujas por medio de una fuerte varilla *vv* que pasa por debajo del carril fijo *mn* y á la que se puede dar un movimiento alternativo en sentido de su longitud, como se verá despues. Si con la posicion de las agujas que indica la figura viniera un wagon en el sentido señalado por la flecha, tendria que apoyarse una rueda sobre la aguja *cd* al dejar el carril *m'* con el cual no forma ningun resalto, y á causa de la equidistancia entre las dos ruedas del mismo eje la otra seguirá apoyándose sobre el carril *mn*, pudiendo pasar su reborde interior entre dicho carril y la aguja inmediata. Recorrida esta zona, las dos ruedas marcharán apoyándose sobre los carriles *mn*, *dr'*; esto es, tomando la vía de la izquierda. Inversamente, si la posicion de las agujas fuese la indicada por las líneas de puntos, el wagon tomaria la vía de la derecha determinada por los carriles *br* y *cn'*. Este cambio de posicion se obtiene por medio de la palanca *pp'* que gira al rededor de *p*, y á la que viene á unirse en el punto *s* la varilla *vv*, *v'v'*; de modo que moviendo la palanca corre la varilla segun su longitud y aproxima las agujas á un carril ó á otro. Para facilitar el movimiento de las agujas se hace que insistan sobre placas de fundicion *hh* sujetas á la cara superior del bastidor de que ahora hablaremos y convenientemente engrasadas, uniéndose á las mismas placas, pero de una manera invariable, los carriles contiguos á las agujas.

Todo el aparato que forma el cambio de vía va montado en un fuerte bastidor de madera que se coloca sobre las traviesas de la vía férrea, las cuales se sitúan con este objeto á las distancias convenientes y á cierta profundidad. Además está dispuesto el sistema de modo que se combine con la longitud de los carriles empleados, á fin de poderle trasladar fácilmente de un punto á otro. Cuando deban ser frecuentes estas traslaciones, se hace que los ángulos de desviacion del cambio de vía y del cruzamiento sean bastante grandes, porque de este modo se acorta la longitud del aparato y es más fácil su trasporte.

En la fig. 87 se vé en detalle el cruzamiento *o* de la 85, y si en ésta suponemos que viene un wagon desde el cambio, es necesario que el reborde interior de la rueda que va por el carril que se cruza con el otro no tropiece con éste al llegar al punto *o*. Con este objeto se tuercen ambos carriles poco antes de

llegar á dicho punto, como se ve en la primera figura en *mn*, *m'n'* y se hace que los del cruzamiento *pop'* formen un solo todo solidario con una placa inferior de fundicion *abcd* que se fija á las traviesas. De esta manera, y suponiendo la marcha del wagon como antes, la rueda vendrá apoyándose sobre el carril desde *l* hasta *m*; despues se salva el pequeño claro *mo*, apoyándose el reborde sobre la placa de fundicion y en *o* vuelve la llanta á insistir sobre el carril *op'*. Con el fin de evitar que en el claro pueda el reborde tomar el otro carril *op*, lo que ocasionaria un descarrilamiento, se coloca junto al carril exterior, y á la distancia conveniente para dar paso al reborde de su rueda, una pieza de madera *fg*, llamada *contra-carril*, que impide la separacion del reborde de la rueda de su carril respectivo y por lo tanto la marcha de la otra en direccion *op*.

Tambien se establecen en muchos casos cambios y cruzamientos para tres vías, como se representa en la fig. 88, los cuales se fijan á bastidores que se trasportan fácilmente cuando sea necesario cambiarlos de posicion. Las agujas *ab*,*a'b'* se mueven con una palanca, como de ordinario, y segun se la ponga en las posiciones extremas ó en la intermedia, así podrán los trenes tomar la vía correspondiente.

Otra disposicion que tambien tiene por objeto permitir que un wagon pueda tomar una direccion distinta de la principal, que generalmente es normal á ésta, consiste en el empleo de *tornavías* (fig. 89). Consta este aparato de una fuerte traviesa *ab*, en cuyo centro lleva inferiormente unido un eje que entra en un tejuelo ahondado en otra pieza de madera *cd* fija al suelo. Encima de la traviesa, cruzándola á ángulo recto y unidos á ella por medio de coginetes de fundicion, hay dos carriles distantes entre sí el ancho de la vía, y con objeto de hacerlos más solidarios se unen hácia sus extremos con dos varillas *ff*, *gg*. Si los carriles del tornavia están en la direccion de los de la vía principal, se pasa un wagon hasta que insista sobre ellos y despues se hace girar á este 90° aplicando á sus extremos un par de fuerzas horizontales, producidas por el esfuerzo de varios hombres. Así se consigue que los carriles que estaban en la direccion *fg* vengan despues á la *ff* y el vehículo podrá despues continuar marchando por la vía perpendicular á la primera. Muchas veces se proporciona más solidez al sistema haciendo

que los extremos de los carriles, cuando están en la direccion de la vía principal, se apoyen sobre traviesas colocadas inferiormente.

Las tornavías tienen un empleo mucho más restringido que los cambios de vía, pues que, aparte de la dificultad de su manejo y de las deformaciones y deterioros á que están expuestos, no pueden dar paso más que á un wagon á la vez, retrasando la marcha de los vehículos y las demás operaciones que de ella dependen en los movimientos de tierra.

64. **Planos inclinados.**—En los casos examinados anteriormente, la vía que tenian que recorrer los vehículos para trasportar los desmontes era de bastante poca inclinacion para que los motores, bien fueran hombres, caballerías ó locomotoras, pudieran recorrerla tirando directamente de aquellos; pero hay ocasiones, como sucede cuando los productos de un desmonte se han de depositar á sus costados formando caballeros, en los que no es posible, económicamente hablando, adoptar esta disposicion, habiéndose apelado á medios diversos, segun las circunstancias.

Las figuras 90 á 92 representan una de las disposiciones adoptadas con buen éxito, y consiste en colocar, cerca de la cresta *A A* del desmonte, dos postes verticales *ab*, *a'b'* separados una cierta distancia, que despues determinaremos, y hacer que la cuerda *cd* que sube del talud pase por la polea *p*, baje despues á la *p'* en la parte inferior del poste, y de aquí siga paralelamente á la cresta del desmonte hasta entrar en otra polea análoga á la *p'* que hay en el otro poste, subiendo luego á la análoga á la *p* para bajar por último por el talud. Cada uno de los extremos de esta cuerda se divide en dos ramales que terminan en ganchos con los que se cogen las dos varas de una carretilla llena, que está en el fondo del desmonte y se intenta subir; haciéndose lo mismo con los otros dos ramales respecto á otra carretilla vacía que está en la parte superior y se trata de bajar. Para facilitar el movimiento de las carretillas en el talud se forma sobre éste y en frente de cada poste un plano inclinado con tablones, el que se prolonga sobre la cresta y despues sigue horizontalmente por *ef*, apoyándose en un ligero andamio, hasta llegar al punto *f*, donde se vierten las tierras para formar el caballero.

El motor que se emplea es una ó dos caballerías enganchadas á la cuerda entre los dos postes; de modo, que marchando hácia donde está la carretilla vacía, esta baja por su plano mientras sube la llena. Si cuando la primera ha llegado á la parte inferior, reemplazándola con otra llena y se ha sustituido al estar en la superior la segunda con otra vacía, se cambia el sentido de la marcha del motor, vuelve á subir otra carretilla llena y baja otra vacía. Todas las carretillas van guiadas por un operario mientras recorren el plano inclinado, y en el extremo superíor é inferior de éste hay otro obrero encargado de engancharlas y desengancharlas.

La distancia mínima á que deben colocarse los dos postes es tal, que cuando el desmonte llegue á su mayor profundidad haya igualdad entre la longitud del plano inclinado, más el doble de la de la caballería con los tirantes de enganche, y la referida distancia; si bien esta suele aumentarse algo en muchos casos.

Este mismo sistema se ha perfeccionado despues reemplazando la vía de tablones por otra de carriles de hierro y las carretillas por pequeños wagones que pueden subir y bajar sin que los guie ningun operario. Además se han establecido en la parte superior y hasta en la inferior del plano inclinado tornavías perfeccionadas, ó sean plataformas provisionales, para verter en el punto conveniente los wagones y formar el caballero. Tambien se ha sustituido en algunos grandes trabajos el motor de sangre por una máquina de vapor convenientemente establecida.

65. **Planos automotores.**—Inversamente al caso anterior, puede suceder que los productos de un desmonte ó de la explotacion de una cantera se tengan que llevar á un punto bastante bajo para que no sea conveniente la apertura de un camino ordinario ó de hierro, y entonces puede establecerse un *plano automotor*, el cual tiene por objeto facilitar la bajada de un tren de wagones cargados á lo largo de una vía y hacer subir, como contrapeso en otra vía próxima y paralela, otro tren de wagones vacíos. Estos dos trenes se unen entre sí por medio de una fuerte cuerda que pasa por una polea situada en la parte alta del plano automotor.

Si este tiene poca longitud, se establecen las dos vías tal como se acaba de indicar en el número anterior; pero si fuera bastante

larga se pueden reunir ambas vías en una, en la parte inferior del plano inclinado (fig. 93) por bajo de la zona en que se cruzan los dos trenes, y si finalmente la longitud fuera muy considerable, se alcanzaria una economía no despreciable estableciendo una sola vía, excepto en la zona de cruzamiento de los trenes, la cual se supone siempre mayor que la longitud de uno de éstos.

Más allá del borde superior del plano inclinado, y á una distancia de éste algo mayor que la longitud de un tren, se establece por bajo del suelo una polea *p* (figs. 93 y 94) de un diámetro igual á la distancia de eje á eje de las dos vías, á la cual viene á arrollarse la cuerda que se sujeta por uno de sus extremos al tren cargado y por el otro al vacío (a). Esta cuerda debe ser de cáñamo ó de alambre y se apoya sobre rodillos horizontales colocados de distancia en distancia en las vías, con objeto de evitar rozamientos con el suelo: la union con los trenes se realiza por medio de un enganche parecido al que se describió al tratar del bastidor de los vehículos (núm. 56.) La polea, que en general es de madera, tiene unida invariablemente á la cara superior otra polea de fundicion de garganta cilíndrica *ab*, *a'b'*, con la cual se puede á voluntad poner en contacto, como en la mitad de la circunferencia de su garganta, una cinta de chapa flexible *cad*. Con este fin se empotra el extremo *c* de esta cinta en la pared, ordinariamente de fábrica, que reviste al rebajo en que se coloca la polea, y la otra extremidad se articula en *d* á una palanca *d'f'* cuyo punto fijo *g'* tambien está empotrado en la fábrica. Moviendo la palanca en el sentido de la flecha *f'* la cinta se aplica fuertemente sobre la polea cilíndrica y ocasiona un rozamiento que puede regular y hasta detener el movimiento de la polea principal, y por lo tanto de la cuerda.

Para iniciar fácilmente el movimiento, se disponen las vías de modo que presenten bastante inclinacion (2,5 á 3,00 por 100 al ménos) desde la polea motriz hasta el principio *a* del plano inclinado (fig. 93) y en el pié de éste debe disponerse un trozo *cd* con inclinacion en sentido contrario á la del plano. Como

---

(a) Algunas veces se reemplaza esta polea por otras tres de menor rádio, de las que una se pone en la entrevía y las otras dos en las vías.

en la parte superior hay un tren cargado y en la inferior uno vacío, se los pone en movimiento enganchando al primero una ó más caballerías que se desenganchan poco antes de llegar al plano inclinado, siguiendo sin embargo el tren su movimiento en virtud de la velocidad adquirida. Cuando á causa de este movimiento el tren cargado llega á la parte inferior y el vacío á la superior, se desenganchan instantáneamente de la cuerda por medio de un operario que va en el mismo tren, y las inclinaciones ya dichas de las vías sirven para atenuar su movimiento.

66. **Aparatos para la elevacion vertical.**—En muchas circunstancias, como sucede en la apertura de pozos y otras análogas, no se puede disponer del espacio necesario para establecer un plano inclinado, ó no conviene adoptarle por algun motivo, siendo preferible la elevacion vertical de los productos del desmonte, y en tal caso se emplean con este objeto diversos aparatos, de los que son los siguientes los más usados.

67. **Tornos.**—Este aparato, conocido de todos y representado en la fig. 95, consta del cilindro *ab*, cuyo eje de hierro forjado se prolonga y acoda dos veces para formar las cigüeñas *cc*. El eje se apoya sobre dos montantes *mm*, que se ensamblan á un bastidor horizontal, y hácia el centro del cilindro se arrolla una cuerda, de cuyos extremos penden las espuertas ó esportones donde se conduce la tierra. Generalmente se pone en cada extremo de la cuerda dos ramales con ganchos para coger el esporton, y dando al torno movimiento en un sentido ó en otro, subirá el cargado y bajará el vacío. Para la marcha del aparato actúan en las cigüeñas dos ó cuatro hombres, segun sea el peso que se haya de elevar, de los cuales uno separa y desengancha el esporton lleno cuando llega á la parte superior, reemplazándole con otro vacío, y en la inferior hay un chico ú otro hombre que quita el vacío y engancha otro lleno, dándose en seguida al torno movimiento en sentido contrario al que habia tenido.

El eje del torno puede estar vertical (fig. 96) hallándose sujeto superiormente por un collar y terminando por abajo en un pivote que se apoya sobre un tejuelo. Uniendo á este eje de una manera solidaria el tambor *mm*, como se puede conocer por las figs. 97 y 98, al cual viene á arrollarse la cuerda despues de

pasar por las dos poleas *pp*, se sube el extremo que convenga de ésta, segun sea el sentido en que se mueva el tambor. El motor en este caso es una ó dos caballerías uncidas á los extremos de la palanca *nn* sujeta al eje del torno, las cuales andan un cierto número de vueltas en un sentido, y despues las desandan, subiendo en cada caso el extremo de la cuerda en que está la carga. La caballería puede girar fácilmente en los cambios de direccion, porque al rededor del pasador se mueve la parte inferior *pp*, á la que va uncida aquella; y además es conveniente que la circunferencia que describa no sea de menor rádio que $2^{m}50$, ni mayor que 5.

En algunos casos se ha empleado como fuerza motriz una máquina de vapor.

68. **Máquina de Coignet.** —Consta en su parte esencial de cuatro postes *pp* (fig. 99) convenientemente arriostrados, sosteniendo en la parte superior una polea *r*, por cuya garganta pasa la cuerda que lleva unidas á sus extremos las dos plataformas *aa*, *bb*. Una escala de mano *cc* llega hasta el tramo horizontal *hh*, por el cual se conduce la carga elevada. El movimiento del aparato se determina de la siguiente manera: en la plataforma *aa*, que suponemos se encuentra en la parte inferior, coloca un operario una carretilla cargada y al mismo tiempo otro obrero lleva á la plataforma *bb*, que se encuentra arriba, otra carretilla vacía. El primero sube la escalera de mano mientras que el segundo entra en la plataforma con su carretilla, y su peso, unido si es necesario al esfuerzo que ejerce sobre una cuerda vertical contigua á la plataforma, determina el descenso de ésta y la elevacion de la otra, que llega á la parte superior al mismo tiempo que el operario que sube por la escalera. Este coge de nuevo su carretilla cargada, que conduce por el tramo *hh* hasta descargarla ó cambiarla por otra vacía, y despues vuelve con la vacía que coloca en su plataforma, sobre la que se pone él tambien para bajar. Mientras tanto el otro operario, al llegar á la parte inferior, hace análogas maniobras y vuelve al poco tiempo con una carretilla cargada que deja sobre su plataforma, subiendo despues por la escala de mano, y estas operaciones se repiten durante el tiempo del trabajo.

Primero se emplearon carretillas cargadas con un peso de

tierras igual al de un hombre y despues se han preferido otras que lleven una carga igual al peso de dos hombres, por la mayor economía que producen. En efecto, por este medio se necesita emplear, para subir un peso de tierras igual á dos hombres, el operario que trae la carretilla cargada y los dos que con la vacía la contrarestan (a), al paso que con las carretillas pequeñas se hubieran necesitado cuatro operarios en lugar de tres y verificar dos subidas y bajadas en vez de una sola.

Las distancias á que deban estar de la máquina los cambios de carretillas para que no haya pérdida de tiempo, dependen de la rapidez con que las plataformas pasan de la parte superior á la inferior, y se podrán determinar fácilmente con arreglo á lo que se dirá al tratar de las distancias de los trasportes.

Otra disposicion análoga á esta máquina, representada en la figura 100, lám. 6, se emplea cuando el trasporte vertical se hace al lado de un muro, cerca de cuyo pié puede verificarse el desmonte ó llevarse sus productos. Consta de dos postes verticales *pp* bien empotrados y sujetos superiormente con vientos *vv*, muy próximos al muro y con dos poleas cada uno. Por las cuatro poleas pasa una cuerda, en cuyos extremos van los ganchos con que se cogen las carretillas, y entre los postes se pone la caballería que mueve la cuerda en uno ó en otro sentido. Para los demás detalles del aparato, así como para la separacion de los postes, puede verse lo dicho al describir los planos inclinados, con los que tiene mucha semejanza.

69. **Vias funiculares.**—El ingeniero inglés Mr. Hódgson ha conseguido verificar el trasporte de los materiales por medio de un sistema más barato en su construccion que cualquiera de las vias ordinarias, por estrecha que sea, siendo al mismo tiempo más económico en su explotacion y conservacion. El sistema se reduce á sostener de cuando en cuando una cuerda de alambre sin fin á cierta altura del suelo, de la cual se cuelgan las cajas que trasportan el material, haciendo correr esta cuerda á lo largo de los apoyos, para lo cual se establece en un extremo un tambor ó polea, análogamente á como se ha visto en los planos automotores y al que se arrolla la cuerda, que está movida por

---

(a) Uno de estos dos operarios no hace más que bajar con las carretillas vacías y subir por la escalera.

una máquina de vapor: las cajas marcharán con la cuerda de un extremo á otro de la via.

La fig. 101 representa la disposicion adoptada para el trasporte de los productos de una cantera á unos 5 kilómetros de distancia, en Inglaterra, la cual ha dado resultados satisfactorios. Esta línea consta de una cuerda de alambre sin fin, de 12 milímetros de diámetro, sostenida por una série de poleas de 38 centímetros, que se fijan á fuertes postes distantes por lo regular unos de otros 45 metros; si bien cuando es necesario aumenta esta distancia, llegando á ser en un punto de 183.

La cuerda pasa por un extremo alrededor de un tambor que se hace girar por medio de una locomóvil ordinaria, moviéndose aquella con una velocidad de 6 á 10 kilómetros por hora. Las cajas en que se trasportan los bloques se cargan por un extremo de la vía y se descargan en el opuesto, en el cual se colocan otras descargadas. Cada una puede llevar 50 kilógramos de peso y la extraccion es de 200 cajas por hora; pero fácilmente puede alterarse esta relacion y trasportar desde 10 á 1.000 toneladas diarias.

Otras disposiciones algo más complicadas se adoptan cuando haya de ser más importante el movimiento á causa de los pesos conducidos y cantidad total trasportada, poniéndose á veces otra cuerda por la parte inferior con el fin de dar más seguridad al movimiento, é impedir las oscilaciones de la carga (fig. 102); pero en todas subsiste el mismo principio respecto á las partes esenciales que constituyen estas vías.

Las ventajas que las distinguen son la facilidad y economía con que pueden establecerse en cualquier país por montañoso y quebrado que sea, puesto que se suprimen los puentes, terraplenes y demás obras indispensables en las vias ordinarias. Su construccion exige poco más trabajo que la de una línea telegráfica, y su coste, aunque variable con la cantidad de productos que se hayan de trasportar, es siempre reducido é independiente de la naturaleza y relieve del terreno que ha de atravesar.

Este sistema, de tan útil aplicacion en los países quebrados, cuando se establece dentro de las condiciones que debe llenar, se ha empleado en el nuestro, si bien con éxito variable, en algun punto de Astúrias y Vizcaya, para el trasporte de carbones y minerales.

ARTÍCULO III.

Trasportes.

70. **Carga.**—Una vez descritos los medios de trasporte más generalmente usados, pasemos ahora á examinar las tres operaciones esenciales de todo trasporte, que son, como ya se dijo al principio del artículo anterior, la carga, la conduccion y la descarga.

En muchas circunstancias, y sobre todo cuando el terreno que se desmonta es tan poco duro que se le ataca fácilmente con la pala, puede considerarse la carga como una parte integrante del desmonte; porque en vez de echar éste á los lados á medida que se obtiene para que no estorbe la prosecucion del trabajo, se le vierte sin aumento sensible de gasto sobre las espuertas ó carretillas próximas en que se haya de conducir. En cambio hay otras circunstancias en las que la carga se compone de varias operaciones, como sucede por ejemplo cuando se tiene que llenar un wagon por medio de carretillas, en cuyo caso la carga de aquel comprende la carga, conduccion y descarga de éstas. Es pues, necesario conocer en las aplicaciones la naturaleza de la carga para poder apreciar el gasto que exige y cómo influye en las demás operaciones del trasporte.

71. **Con palas y espuertas.**—Generalmente la carga de las carretillas, de los carros y hasta de los wagones tiene lugar por medio de espuertas ó á la pala, á cuyo fin se construyen los últimos vehículos de manera que el borde superior de sus cajas no exceda de $1,^{m}65$ de altura sobre el terreno. Si se emplean las espuertas conviene tener al rededor del punto de carga, y cerca del vehículo, algunas cargadas en depósito, que se van vertiendo y se reponen con las que llegan llenas, disponiéndose el número de unas y otras de manera que nunca falten espuertas que vaciar hasta que el vehículo esté completamente cargado. Los operarios se distribuyen de modo que puedan cargar sin interrupcion, á cuyo fin se suelen colocar uno ó dos en la parte posterior del vehículo, segun sea mayor ó menor su ancho, y uno á cada lado. Empleando la pala se adopta la misma distribucion; y como entonces el cargador no necesita apro-

ximarse tanto al vehículo como en el caso anterior, la carga se verifica con más rapidez (a).

La cantidad de tierras que un operario puede cargar en 10 horas de trabajo es variable; pero se admite como término medio que llega á 16 metros cúbicos llenando espuertas; á 15 siendo carretillas ó carretones, y á 12 para los carros y wagones. Si las tierras estan mezcladas con grava gruesa ó cantos y segun sea la relacion en que se encuentren estas materias, se deben reducir los valores anteriores en $^1/_5$ y hasta $^1/_4$ en muchas circunstancias.

72. **Con carretillas.**—En los movimientos de tierra importantes hay ocasiones, cuando se quiere dar mucho impulso á los trabajos, en las que los wagones que se han de cargar se encuentran encerrados en una estrecha y profunda zanja ó córte, como se dijo en otra ocasion (46 y 47) y entonces puede convenir cargarlos con las carretillas que conducen los productos de los desmontes contiguos y superiores, á cuyo fin se establece á cierta altura sobre los wagones, y empotradas en los taludes de la zanja, varias piezas de madera, encima de las que se colocan tablones que sirven de apoyo á las carretillas hasta llegar encima del wagon, sobre el que vierten su contenido.

En este caso el tiempo invertido en la carga de un wagon depende de la capacidad de las carretillas y del número de las que en un tiempo dado pueden vaciarse sobre aquel.

En muchas ocasiones se hace uso simultáneamente de estos varios medios de cargar los vehículos; si bien es lo más usual y conveniente en la generalidad de los casos emplear con este objeto la pala.

73. **Conduccion, ó trasporte propiamente dicho.**—La conduccion de los productos de un desmonte desde el punto en que se cargan hasta aquel en que se hayan de depositar puede verificarse de muy distintas maneras, como se indicó al tratar de los medios de trasporte; pero hay además en esta operacion va-

---

(a) Se suele admitir que al llegar el carro al punto de carga y una vez colocado en la posicion conveniente para cargarle, trabaja el carretero como un cargador cualquiera; pero en nuestro país enseña la experiencia que es muy difícil alcanzar que el conductor trabaje en este concepto; y aun dado caso de conseguirlo, hace tan poco, que solo puede considerársele como auxiliar más bien que como cargador.

rias cuestiones que influyen de tal modo en el resultado definitivo del movimiento de tierras, que pueden hacerle útil ó ruinoso, segun se adopten ó no las soluciones más convenientes. Debemos por lo tanto examinar aquí las distancias hasta donde deben llegar los trasportes, segun sea el vehículo que se emplee, el precio de estos trasportes, y los caminos que deben adoptarse en cada caso.

Si se trata de trasportar el volúmen proyectado en la superficie *ABCD* (fig. 103), cuyo espesor suponemos de 1, á la superficie *A'B'C'D'*, que tendrá el espesor necesario para que resulte el mismo volúmen anterior, y admitimos que los volúmenes parciales 1, 2, 3... se llevan á los 1', 2', 3'... resultará que para cada uno será distinta la distancia recorrida, y si llamamos V, V', V'', estos volúmenes y d, d', d'' las distancias respectivas, tendremos que la suma de sus productos correspondientes será $Vd + V'd' + V''d'' + ...$ Pero si en vez de estos volúmenes y distancias parciales tratamos de determinar la distancia media correspondiente al volúmen total, y llamamos D esta distancia, se habrá de verificar que

$$D\,(V+V'+V''+.....)=Vd+V'd'+V''d''.....\text{ ó bien,}$$

$$D=\frac{Vd+V'd'+V''d''+....}{V+V'+V''+....}$$

Esta distancia media es por lo tanto la que hay entre el centro de gravedad del volúmen escavado y el del depósito que con él se forma (a).

(a) En la práctica los volúmenes de los desmontes y terraplenes suelen ser irregulares; pero se los asimila á los de forma regular para determinar su centro de gravedad, suponiendo que el material es homogéneo.

Con este objeto recordaremos aquí la posicion del centro de gravedad de las superficies y volúmenes que tienen más empleo.

Triángulo.—Se encuentra en la recta que une un vértice con el punto medio del lado opuesto y á $1/3$ de su longitud á contar de éste.

Paralelógramo.—Está situado en el punto de interseccion de las dos diagonales.

Trapecio.—Si trazando una diagonal le dividimos en dos triángulos, la recta que una los centros de gravedad de éstos pasará por el punto buscado. Trazando la otra diagonal y haciendo otro tanto, cortará á la anterior en el centro de gravedad.

Polígono cualquiera.—Se le descompone en triángulos ó cuadriláte-

Conocida de esta manera la distancia media del trasporte, veamos las operaciones que en general lleva consigo, para deducir luego el vehículo más conveniente en cada caso particular.

74. **Distancias de trasporte: Trasporte horizontal.** — En todo trasporte bien organizado, es preciso, para que no haya interrupciones perjudiciales á la marcha de los trabajos, que al concluir de cargar un vehículo cualquiera, se presente otro vacío; de modo, que suponiendo que existen dos, es necesario que el segundo haya recorrido el camino de ida y vuelta y haya descargado, mientras se ha estado cargando el primero. Esto supuesto, si llamamos T el tiempo invertido en la carga del vehículo, d la distancia desde el punto de carga al de descarga, t el tiempo necesario para andar un metro de distancia, y t' el invertido en la descarga, se verificará que

$$T=2dt+t'; \text{ de donde, } d=\frac{T-t'}{2\,t}\ldots.(1)$$

Esta expresion, que es aplicable á cualquier vehículo, da la distancia de trasporte en funcion de cantidades conocidas; y para determinar los valores correspondientes en cada circunstancia, la aplicaremos á los casos siguientes:

75. **Espuertas.** — Empleando para el trasporte la espuerta, que admitiremos tenga una capacidad de 0,01 de metro cúbico, y cargando un operario 16^{m3} en 10 horas de trabajo, como se ha dicho más arriba, resulta que el tiempo invertido en cargar la espuerta será 0,00625 de hora. Por otra parte, un operario llevando la espuerta unas veces cargada y otras vacía, recorre en 10 horas 30.000 metros; de modo que tarda en recorrer un metro 0,00033 de hora. En este trasporte el tiempo invertido en la descarga es tan pequeño que puede despreciarse. Sustituyendo estos valores en la fórmula (1) resulta

---

ros, cuyos centros de gravedad se determinan. Considerando en cada uno pesos proporcionales á las áreas de las figuras respectivas y hallando su resultante, ésta dará el centro que se busca.

Pirámide.—Se encuentra en la recta que une el vértice con el centro de gravedad de la base y á $^1/_4$ de ésta.

Los demás volúmenes se pueden descomponer en pirámides en cuyos centros de gravedad se suponen pesos proporcionales á los volúmenes respectivos, análogamente á lo dicho en los polígonos.

$$d=\frac{0,00625}{0,00066}=9,^{m}5 \text{ próximamente.}$$

Si en vez de $0,^{m3}01$ fuese la capacidad de la espuerta de $0,^{m3}015$ hubiera resultado para la distancia 14 metros en números enteros.

76. **Carretillas.**—Siendo su capacidad de $0,^{m3}05$ y cargando un operario en 10 horas 15^{m3}, tardará en la carga 0,033 horas. El conductor de la carretilla anda en 10 horas 30.000 metros, correspondiéndole por lo tanto, á cada uno 0,00033 de hora, y pudiéndose aquí admitir tambien, como en el caso anterior, que se desprecie el tiempo empleado para la descarga, resultará para la distancia de trasporte

$$d=\frac{0,033}{0,00066}=50^{m}$$

Cuando la capacidad de la carretilla no sea más que de $0,^{m3}03$ entonces resulta para la distancia 30 metros, que es el valor más generalmente admitido.

En el caso de ser la distancia mayor que las asignadas, pero sin llegar á la que corresponde al carro, se subdivide en dos ó más partes, de tal modo dispuestas, que cuando el operario que ha cogido la carretilla recien cargada llegue al extremo de la primera parte ó seccion, se encuentre con otro, que vuelve con su carretilla vacía; entonces cambian mútuamente de carretilla y vuelven á recorrer su respectiva seccion, llegando así la carretilla cargada hasta el extremo de la distancia total, conducida por dos ó más operarios. A cada uno de estos cambios se dá el nombre de *parada* ó *relevo*.

77. **Carros.**—El tiempo necesario para la carga de este vehículo depende de su capacidad y del número de cargadores que se empleen; de modo que si llamamos C á la primera y admitimos que cada uno de los segundos carga en este caso 12^{m3} en 10 horas, resultará que un cargador tardará $0,833\times C$ en llenarle, y si hay N cargadores en vez de uno, el tiempo invertido en la carga será $0,833\times\frac{C}{N}$ horas. En las condiciones ordinarias un carro anda 30.000 metros en 10 horas y por lo tanto tarda $0,^{h}00033$ en recorrer un metro. El tiempo invertido en la descarga varía con el número de caballerías del carro

y con la facilidad que haya en vaciarle por ser ó no volquete; pero la experiencia ha probado que este tiempo siempre está comprendido entre $0,^h03$ y $0,^h04$.

Aplicando estos datos al caso en que sea $C=0,^{m3}5$; $N=3$ y $t'=0,03$, el valor de la distancia de trasporte será

$$d=\frac{0,833\times0,167-0,03}{0,00066}=165^m.$$

Empleando carros de mayor capacidad aumentará la distancia; y si suponemos que $C=1,30^{m3}$; $N=3$ y $t'=0,04$ tendremos

$$d=\frac{0,833\times0,433-0,04}{0,00066}=486.$$

78. **Wagones.**—La distancia del trasporte empleando este vehículo depende de su capacidad, de la inclinacion de la vía, del número de wagones que entran á formar un tren y del motor. Suponiendo que los wagones tienen $1,^{m3}50$ de capacidad y están movidos por caballos marchando por una vía horizontal en la que recorren 30.000 metros en 10 horas, resultará que el tiempo invertido en la carga de un wagon por tres operarios estará representado, como en el caso de los carros, por $0,833\frac{C}{N}=0,417$. El tiempo de la descarga podemos admitir provisionalmente que sea de $0,^h05$, y el valor de la distancia será entonces

$$d=\frac{0,417-0,05}{0,00066}=556.$$

Tanto el tiempo invertido en la carga como en la descarga de los wagones es muy variable y depende principalmente de las circunstancias locales y de la mejor ó peor organizacion que se dé á los trabajos; pero, sin embargo, el valor deducido da á conocer en las condiciones normales la distancia de trasporte más conveniente empleando los wagones indicados. Cuando la capacidad de éstos sea de 2^{m3} y de 3^{m3} vendrá respectivamente determinada la distancia por las expresiones

$$d=\frac{0,556-0,05}{0,00066}=748$$

y $$d=\frac{0,833-0,05}{0,00066}=1186.$$

Si la capacidad de los wagones fuera de $2^{m3},00$ y su arrastre se verificase con locomotoras que pueden recorrer 180.000^{m} en 10 horas, tendríamos por la fórmula (1) y aplicando los datos correspondientes

$$d=\frac{0,556-0,05}{0,000111}=4558.$$

Por regla general, en los grandes movimientos de tierra, como muchas veces tienen lugar en la construccion de los ferro-carriles, se hace uso de la carretilla para distancias menores de 100 metros; del carro para las comprendidas entre 100 y 500; de wagones movidos por caballerías en las de 500 á 2.000 y solo se apela á las locomotoras para distancias mayores.

Debe tenerse en cuenta que la capacidad asignada á los vehículos se refiere al volúmen que presentan las tierras antes de escavarlas, el cual es menor que el que tienen despues de la escavacion, segun los datos consignados en el núm. 49.

79. **Trasporte inclinado.**—Desde luego se comprende que si en lugar de ser próximamente horizontal el camino por el que se trasportan los productos del desmonte, como hemos supuesto en lo que se acaba de exponer, estuviera en rampa, aumentaria el trabajo desarrollado en la conduccion; porque á más del trasporte horizontal es preciso elevar los materiales. En la práctica se admite como inclinacion máxima de una rampa la que está al 8 por 100, ó sea $^1/_{12}$, y en tal caso se supone que el trabajo necesario para recorrer en ella 20 metros es igual al que se necesita para andar 30 con la misma carga en camino horizontal; de modo que para subir en la rampa una altura a será preciso recorrer una longitud x cuya proyeccion horizontal sea 12 a; y como por lo que se acaba de decir un metro en la rampa equivale á 1,50 en camino horizontal, x equivaldrá á $12\ a\times 1,50=18\ a$. Esto nos dice que es preciso añadir á la proyeccion horizontal de la rampa recorrida la mitad de su longitud para tener la del camino horizontal equivalente.

Si $abcd$ (fig. 104) es una escavacion con cuyas tierras se va á formar el caballero $efkh$, g el centro de gravedad de la primera, en el cual suponemos concentrada toda su masa, g' el del segundo con el mismo supuesto, y llamamos a' y a'' las al-

turas de estos centros respecto á la horizontal *ah*, se tendrá que la distancia del trasporte del desmonte al punto *d* estará representada por 18 a', y análogamente desde *e* para formar el terraplen por 18 a''; luego la distancia total estará expresada por 18 $(a'+a'')+de$

Aun cuando la recta que une los puntos *g* y *d* resulte á $^1/_{12}$ de inclinacion ó ménos, se tendrán que formar de distancia en distancia rampas para la extraccion de los desmontes contiguos al fondo *bc*; y si admitimos que estas rampas disten entre sí 20 metros, pasarán por cada una las tierras de uno y otro lado hasta 10 metros de separacion y el centro de gravedad de cada porcion solo distará 5 de la rampa contigua. Haciendo las mismas consideraciones respecto al terraplen, resultará que la distancia total del trasporte en este caso será 18 $(a'+a'')+de+10^m$.

Se puede reducir la distancia del trasporte, así en la parte del desmonte como en la del terraplen, trazando las líneas *dq* y *ep* con la inclinacion de $^1/_{12}$ y en tal caso todo el volúmen superior á la primera é inferior á la segunda se puede trasportar directamente y sin necesidad de pasar por las rampas antedichas, lo cual podrá ser de importancia cuando la escavacion ó el terraplen sean muy extensos y poco profundos. Sin embargo, sucede generalmente en la práctica que en este caso los caminos directos no están lo bastante trillados y endurecidos para que el trasporte se verifique en las mismas condiciones que en las rampas, razon por la que se suelen utilizar éstas para todo el volúmen que se haya de remover.

Si el terreno va subiendo desde *a* hácia *h*, $a'+a''$, representará, como en el caso de ser horizontal, la diferencia de nivel de los centros de gravedad *g* y *g'*; pero si en lugar de subir fuera el suelo bajando, a' seria la altura del punto *d* sobre el *g* y a'' la del punto *g'* sobre el *e*. En estos casos hemos tenido en cuenta el aumento de trabajo que ocasiona una rampa, y hemos prescindido de la reduccion que produce una bajada ó pendiente; pero debe tenerse presente que si bien al bajar una carga hay una disminucion de trabajo, en cambio al subirla el vehículo, aunque sea de vacío, ocasiona un aumento que reduce el primer efecto. De todos modos en las vías ordinarias no se suele tener en cuenta la inclinacion cuando no excede de 3 á 4 por 100.

Otro trasporte inclinado es el representado en las figuras 90

á 92 de que ya se habló anteriormente (64) y en el cual la distancia que hay que recorrer está determinada por la profundidad de la escavacion y la altura del andamio superior. Suponiendo que el motor sea una caballería mayor, que marcha con la velocidad de 0,^{m}60 por segundo y que en cada cambio de sentido en su movimiento invierta 30 segundos, en cuyo espacio de tiempo se desenganchan unas carretillas y se sustituyen por otras, es fácil determinar en cada caso el tiempo invertido desde el enganche de una carretilla hasta su desenganche (a).

Por último, tambien se obtiene un trasporte inclinado por medio de los escalonados de que se ha hecho mérito más atrás (47), colocando los obreros necesarios que elevan en 10 horas de trabajo 12^{m3} de tierra desde su escalon al inmediato, que se encuentra á 1,^{m}65 de altura.

80. **Trasporte vertical.**—Si consideramos un torno como el descrito más arriba (67) cuyo tambor tenga 0,^{m}20 de diámetro, la cigüeña un rádio de 0,^{m}40, el diámetro de la cuerda 0,^{m}03 y la capacidad del esporton 0,^{m3}033, la velocidad de éste al subir será de un metro por cada cuatro segundos, ó bien por 0,00111 de hora; y siendo el tiempo invertido en desenganchar un esporton y sustitüirle por otro, segun las observaciones, de 0,00556 horas, y de 0,^{h}00595 el empleado en vaciar uno de estos, resultará para el tiempo invertido en subir una altura a, la expresion $0,00111a+0,00556+0,00595$. Como al subir un esporton lleno baja otro vacío, enganchado en el extremo opuesto de la cuerda, no hay que tener en cuenta el tiempo empleado en esta última parte de la operacion; y solo sí cuidar de que haya preparado en la parte inferior un esporton lleno cuando llegue el vacio, para cambiarlos.

De una manera análoga puede determinarse el tiempo invertido en subir una altura dada haciendo uso del torno vertical descrito en el mismo número, para lo cual se tendrá en cuenta el diámetro del tambor, velocidad del motor, su distancia al eje y tiempo invertido en el desenganche y vaciado de la capacidad en que se conducen las tierras. Igualmente puede de-

(a) En diez horas de trabajo, empleando dos caballos y un conductor para subir wagones, y siendo la profundidad del desmonte de 15 metros, se ha visto por experiencias que pueden subirse unos 150 metros cúbicos.

ducirse este tiempo cuando se emplea la máquina de Coignet, teniendo en cuenta que la velocidad del movimiento es de 0,^{m}22 á 0,^{m}25 por segundo.

81. **Precios de trasporte.**—Para determinar el precio del trasporte de un metro cúbico de tierras á una distancia ó altura dadas, es preciso conocer por una parte el tiempo que el vehículo emplea en esta operacion, lo que se traduce en un cierto valor, dado el jornal que gana al dia, y por otra la parte de jornal correspondiente á los cargadores y descargadores. Además hay que tener en cuenta el capital invertido en la adquisicion del material empleado, el interés de aquel, con el coste de los desperfectos y conservacion de éste, y por último, los gastos de establecimiento, conservacion y desperfectos de la vía que se establezca.

Estos últimos valores influyen por regla general tanto ménos en el precio de los trasportes cuanto mayor es el número de metros cúbicos que se haya de trasportar, entre los cuales hay que distribuir aquellos; y en muchas ocasiones sucede que su importe es tan poco elevado que apenas afecta al precio del trasporte del metro cúbico, en cuyo caso se puede prescindir de su influencia, como se verá á continuacion.

Si llamamos p el importe correspondiente al tiempo invertido por el vehículo en la carga, conduccion y descarga de un metro cúbico de escavacion, p' al correspondiente empleado por los cargadores y descargadores, p'' los gastos referentes al material móvil, p''' los pertenecientes á la vía, y N el número de metros cúbicos que se han de trasportar, el precio P del trasporte de uno estará dado por la expresion

$$P=p+p'+\frac{p''+p'''}{N}.....(1).$$

Veamos ahora los precios de trasporte en los casos examinados al tratar de las distancias.

82. **Espuertas.**—En este caso los gastos referentes al material son tan pequeños que pueden despreciarse, y los correspondientes á la vía son en general nulos; así es que solo debemos tener en cuenta los valores de p y p'. Ya se ha visto que el tiempo invertido en cargar una espuerta de 0,^{m3}01 de capacidad es de 0,^{h}00625; y admitiendo que el jornal del operario en las 10 horas de trabajo sea 2,5 pesetas ó lo que es lo mismo 0,^{ps}25 por

ıora, resultará para importe de la carga 0,00156 pesetas. Si el trasporte tiene lugar á 10 metros de distancia, tardará el trabajador en recorrerla de ida y vuelta $0,^{h}0066$ y admitiendo para éste el mismo jornal que para el cargador, importará la conduccion 0,00167 pesetas: el tiempo invertido en la descarga se desprecia. Segun estos datos, el precio del trasporte de 0,01 metros cúbicos á 10 metros de distancia será $0,^{ps}00323$, y por lo tanto, el del metro cúbico resultará á $0,^{ps}323$.

83. **Carretillas.**—Aceptando para capacidad del vehículo $0,^{m3}05$, para distancia del trasporte 50 metros y el mismo valor de los jornales que en el caso anterior, tendremos que el importe de la carga será $0,^{ps}00825$ y el de la conduccion será tambien $0^{ps},00825$, ó sea en total $0,^{ps}0165$; y por lo tanto el precio del trasporte del metro cúbico saldrá á $0,^{ps}330$. Pero si para la misma distancia fuera la capacidad de $0,^{m3}03$, seria preciso establecer una parada en el punto medio y entonces el precio del trasporte resultaria á $0,^{ps}442$.

Comparando los diversos precios de trasporte con carretilla para las diferentes distancias en que se emplea, se observa la economía que se obtiene aumentando la capacidad del vehículo á medida que crece la distancia; pero como por otra parte y prescindiendo de otras consideraciones, este aumento no puede verificarse sino con gastos de importancia ó con un costoso material, de aquí el adoptar una capacidad media comprendida entre ciertos límites, como se ha dicho más arriba.

84. **Carros.**—Si se admiten los datos que han servido anteriormente para fijar en 165^{m} la distancia de trasporte de este vehículo, resultará para el tiempo empleado en la carga $0,833 \frac{0,5}{3} = 0,139$ horas: en este tiempo corresponde ganar $0,^{ps}104$ á los tres cargadores cuyo jornal diario es á razon de $2,^{ps}50$, y $0,^{ps}139$ al carro, si se supone que su jornal con el conductor importa 10 pesetas; de modo que el precio de la carga será $0,^{ps}243$. El tiempo invertido en la conduccion y descarga es de $0,109+0,03=0,139$ horas, cuyo importe será de $0,^{ps}139$. De aquí se deduce que el precio del trasporte de 0,5 metros cúbicos á la distancia referida es de $0,^{ps}382$ y el del metro cúbico resultará á $0,^{ps}764$.

Si con carros de esta capacidad se trasportan las tierras á

486 metros de distancia, costará la carga 0,ps243 y el trasporte con descarga 0,ps324, resultando para el precio del metro cúbico 1,ps134; pero si en vez de estos carros se adoptan los que tienen 1,m³30 de capacidad, cuyo jornal supondremos de 15 pesetas, tendremos que el tiempo empleado en la carga será $0,833\frac{1,30}{3}=0,^{h}361$ que corresponde á 0,ps271 para los cargadores y 0,ps542 para el carro, ó sea para el total de la carga 0,ps813. En la conduccion y descarga invertirá 0,321+0,04=0,h361 que importa 0,ps542; luego el total del viaje resultará á 1,ps355; y como trasporta 1,m³30 corresponde á cada uno 1,ps004. Vemos aquí, como tambien se ha hecho notar en el trasporte con carretilla, que á medida que aumenta la distancia es conveniente bajo el punto de vista económico aumentar la capacidad del vehículo, aunque conservándose entre ciertos límites por las razones entonces expuestas.

85. **Vehículo más económico.**—Sucede con frecuencia que teniendo dos vehículos se quiere determinar la distancia para la cual el precio del trasporte es el mismo, ya se emplee uno ú otro, y á partir de la que deberá adoptarse el que más economía proporcione. Para esto bastará expresar el precio de trasporte del metro cúbico correspondiente á una distancia indeterminada, haciendo uso de estos vehículos é igualando estos valores deducir la distancia correspondiente. Así, por ejemplo, si se quiere verificar la comparacion entre la carretilla y el carro, llamemos t_1 el tiempo en horas necesario para cargar la primera, t el que tarda en recorrer 1m, j_1 el jornal por hora de un cargador y j el de un carretillero, el precio P_1 del viaje á la distancia x será

$$P_1=j_1t_1+j.2tx$$

y el del metro cúbico se expresará por

$$\frac{P_1}{c_1}=(j_1t_1+j.2tx)\frac{1}{c_1}$$

siendo c_1 la capacidad del vehículo. Del mismo modo, si T_1 es el tiempo en horas invertido en cargar el carro, T el que tarda en recorrer 1m, j_1 como en el caso anterior el jornal por hora de un cargador, J el del carro con su conductor y t' el tiempo

en horas empleado en la descarga, se tendrá para el precio P' del viaje á la distancia x

$$P' = JT_1 + 3j_1T_1 + J.2Tx + Jt'$$

y para el del metro cúbico, llamando c' la capacidad

$$\frac{P'}{c'} = (JT_1 + 3j_1T_1 + J.2Tx + Jt')\frac{1}{c'}$$

igualando estos valores se tendrá

$$(j_1t_1 + 2jtx)\frac{1}{c_1} = (JT_1 + 3j_1T_1 + 2JTx + Jt')\frac{1}{c'}$$

y si se hace $t = T$ como sucede en la práctica y se despeja, resulta

$$x = \frac{(JT_1 + 3j_1T_1 + Jt')c_1 - j_1t_1c'}{2t(jc' - Jc_1)}.$$

Aplicando esta expresion al caso de una carretilla de $0,^{m3}03$ de capacidad y de un carro de $0,^{m3}50$, se tendrá $t_1 = 0,02$; $t = 0,00033$; $j = j_1 = 0,25$; $T_1 = 0,139$; $J = 1$, y $t' = 0,03$; y el valor de x es entonces, $x = 91^m$.

De una manera análoga se determinaria el valor de x en el caso de emplearse otros dos vehículos cualesquiera de distinta clase, así como tambien cuando se tienen dos de la misma especie, pero de distinta capacidad y se quiere conocer la distancia á partir de la cual deberá emplearse uno ú otro.

86. **Wagones conducidos por caballerías.**—El empleo de este vehículo exige la construccion de la vía que ha de recorrer, lo que representa un importe más ó ménos elevado, aunque siempre considerable, debiéndose además tener en cuenta, por la misma razon, el valor y depreciacion del material móvil; de modo que en este caso se habrán de obtener los valores de p'' y p''' de la ecuacion del núm. 81. Cuando se hace uso de este medio de trasporte se modifican algo las condiciones de pago del vehículo, que ya no gana un jornal como en los casos anteriores, sino que se determina el coste de su adquisicion y la amortizacion é interés de este capital durante los trabajos, valores que se encuentran comprendidos en lo que se ha representado por p'' en la citada fórmula (1) y que anulan el valor de p. Además la administracion suele facilitar los carriles y coginetes, y el empresario de los trabajos se proporciona las traviesas,

alcayatas, cuñas, cambios y cruzamientos de vías y los wagones de trasporte, con la obligacion de devolver á la administracion en buen estado el material que haya recibido de ella.

Con estas condiciones, que por otra parte varían muchas veces de un caso á otro, tratemos de establecer el precio del trasporte suponiendo que los wagones tienen una capacidad de $2,^{m3}5$ y están movidos con caballerías. Para fijar más las ideas, tomemos un ejemplo; y admitamos que haya una vía de ida y otra de vuelta, que se subdividen en dos cerca del punto de carga y en tres en el de descarga. Siendo la longitud total de las vías 6 *D*, si *D* representa la distancia del centro de gravedad del desmonte al del terraplen.

El importe que ocasiona el personal empleado en la carga, se descompone de la siguiente manera:

	Pesetas.
Un encargado ó vigilante que gana por hora........	0,40
Dos fuertes caballos á 0.50 por hora................	1,00
Dos conductores á 0,25 por hora....................	0,50
	1,90

Ahora bien, si t es el tiempo en horas invertido en la descarga de un wagon, comprendiendo el necesario para llevarle por la vía de descarga, vaciarle y volverle á la vía de los wagones vacíos ($t=0,^h09$) y llamamos n al número de las vías de descarga y c la capacidad del wagon, tendremos que $\frac{nc}{t}=83$ será el número de metros cúbicos que se descargan en cada hora; y como para la buena marcha de los trabajos es necesario que en este mismo tiempo se cargue el mismo volúmen, resultará que las 1,90 pesetas se habrán de distribuir entre los 83 metros cúbicos, correspondiendo á cada uno.......... $0,^{ps}023$
Un operario carga en la hora $1,^{m3}2$ y gana $0,^{ps}25$, correspondiendo á cada métro cúbico............. 0,208
Imprevistos $^1/_{20}$.................................... 0,012

Importe de la carga del metro cúbico.............. $0,^{ps}243$

Para determinar el importe referente á la conduccion, admitiremos que los wagones recorren toda la longitud de la vía

ménos unos 100 metros en los extremos, que se destinan á las vías de carga y descarga, y en tal caso la distancia media será $D-100$; y si suponemos que un caballo recorre en cada hora 3.000 metros y que el tiempo perdido en cada viaje equivale al que invertiria en recorrer 800 metros, resulta para la duracion de un viaje á la distancia $D-100$

$$\frac{2\,(D-100)+800}{3.000}=\frac{D+300}{1.500}$$

Si admitimos ahora que para dos wagones hay un caballo con su conductor que ganan 0,^{ps}75 y conducen 5 metros cúbicos, el precio de conduccion del métro cúbico será

$$\frac{0,75\,(D+300)}{5\times 1.500}=0,0001\,D+0,030.$$

Los gastos referentes á la descarga se componen así:

	Pesetas.
Un vigilante que gana por hora.	0,40
Tres caballos á razon de 0,50	1,50
Tres conductores á 0,25	0,75
Tres arregladores á 0,25	0,75
Un guarda agujas á 0,20	0,20
	3,60

El gasto por metro cúbico será $\frac{3,60}{83}$	0,^{ps}044
Imprevistos $^1/_{20}$	0,002
Precio de la descarga del metro cúbico	0,046

Vemos pues, que el valor representado por p' en la fórmula (1) ya citada, importa en este caso

$$p'=0,243+0,0001D+0,030+0,046=0,0001D+0,319$$

Para determinar el valor de p'' de la misma fórmula, tratemos de conocer el número de wagones necesarios en los trabajos, y con este objeto llamemos T al tiempo empleado en la carga de un convoy de wagones, comprendiendo el necesario para conducir al tajo los wagones vacíos, cargarlos y llevarlos al punto de partida del convoy lleno ($T=0,3$); sea N' el nú-

mero de wagones que forman un convoy y supongamos que *n* y *t* tienen la misma significacion que antes, resultará que el tiempo empleado en la descarga de un convoy se expresará por

$$\frac{N't}{n}=0,03N'$$

y como este tiempo deberá ser igual al de la carga, se tendrá

$$0,03\ N'=T=0,3;\ \text{de donde},\ N'=10\ \text{wagones}.$$

Si representamos por θ el tiempo trascurrido entre dos cargas del mismo convoy, se compondrá:

Del tiempo de la carga$=0,^h 3$.

Del de la conduccion á la distancia $(D-100)=\frac{D+300}{1.500}$

Del de la descarga$=0,^h 3$.

Por lo tanto $\theta=0,6+\frac{D+300}{1.500}=\frac{1.200+D}{1.500}$ y el número N'' de wagones necesarios en la obra será el que se pueda descargar en el tiempo θ, luego

$$N''=\frac{n\theta}{t}=\frac{1.200+D}{3\times15}$$

y para tener en cuenta los que están en reparacion, aumentaremos el número anterior en $^1/_5$ teniendo así para el número total la expresion

$$N'''=1,2\frac{1.200+D}{3\times15}$$

Calculando que en cada campaña haya 250 dias laborables, ó sean 2.500 horas, y siendo 83 los metros cúbicos trasportados por hora, resulta para el desmonte total en la campaña 207.500 metros; y si se supone que un wagon cueste por término medio 600 pesetas y que dura cuatro campañas, el valor de la amortizacion por campaña será 150 pesetas, correspondiendo á los N''' wagones 150 N'''; de modo que el importe de esta amortizacion por metro cúbico será

$$\frac{150\ N'''}{207.500}=1,2\frac{1.200+D}{62.250}\ldots\ldots(\alpha)$$

El interés á 6 por 100 del coste de N''' wagones será 36 N'''; y por metro cúbico durante la campaña

$$\frac{36\ N'''}{207.500}=\frac{43{,}2\ (1.200+D)}{9.337.500}\ldots\ldots(\beta)$$

El engrasado y reparacion puede apreciarse por wagon y hora de trabajo en 0ps.,05, correspondiendo á los N''' wagones 0,05 N'''; y como éstos conducen por hora 83 metros cúbicos, resultará para cada uno:

$$\frac{0{,}05\ N'''}{83}=\frac{6\ (1.200+D)}{373.500}\ldots\ldots(\gamma)$$

Sumando las expresiones (α), (β) y (γ), se tendrá el importe de la amortizacion é intereses del capital de adquisicion de los wagones, de su engrasado y conservacion por metro cúbico, que es lo que hemos representado por $\frac{p''}{N}$ en la fórmula (1), luego

$$\frac{p''}{N}=(0{,}0000193+0{,}0000046+0{,}0000161)\ (1200+D)= 0{,}00004\ D+0{,}048.$$

Veamos, por último, de fijar el valor de p''', esto es; de conocer la amortizacion é intereses del capital invertido en establecer las vías provisionales, de los gastos de colocarlas y quitarlas y los inherentes á su conservacion.

Entre los supuestos que nos han servido de base para la determinacion de los valores anteriores hemos admitido que el empresario debe reintegrar el importe de los carriles perdidos ó deteriorados, importe que puede valuarse en 1 por 100 de su valor, los cuales pesando en conjunto 60 kilógramos por metro longitudinal de vía, costarán 10,ps.80. Luego se habrá de indemnizar al empresario de esta pérdida por la suma de 0,ps11.

Se colocarán las traviesas á un metro de eje á eje, las cuales se adquirirán por el empresario al precio de 1,ps50 una, puesta al pié de la obra, y despues en la reventa podrá sacar los dos tercios de esta cantidad; por lo tanto la pérdida por metro lineal, será........	0,50.
Se necesitarán dos coginetes por metro de via, que pesarán 18 kilógs. y cuestan 2,ps75. Apreciando en 4 por 100 la pérdida por los coginetes rotos ó inutilizados, los dos coginetes experimentarán una depreciacion de 0,ps11, que será la correspondiente al metro lineal. ..	0,11

Depreciacion de dos alcayatas para fijar los coginetes á las traviesas	0,07
Colocacion de los dos coginetes	0,10
Dos cuñas para fijar los carriles en los coginetes	0,15
Trasporte al pié de obra de dos metros longitudinales de carriles	0,08
Colocacion de los carriles por metro lineal de via	0,56
Por desclavar los coginetes, llevar los carriles y coginetes al depósito, limpiarlos y apilarlos	0,25
Imprevistos y útiles	0,25
Importe de establecer y quitar las vias provisionales por metro lineal	2,ps18

Para la longitud $6D$ este gasto será 13,08 D.

Además tendrá el empresario un pequeño material especial como cambios y cruzamientos de vía, accesorios que supondremos equivalentes á 40 metros de vía, y que á razon de 15 pesetas, importan 600. Durante los trabajos experimentarán una depreciacion de $^1/_3$, ó sean	200,00
El capital producirá al 6 por 100 un interés de	36,00
	236,00

Por lo tanto, el importe relativo á establecer, amortizar y quitar las vias provisionales será $13{,}08\,D+236$ pesetas, y siendo N el volúmen total que hay que trasportar, resultará para el coste del metro cúbico $\frac{13{,}08\,D+236}{N}$.

Y por último, se puede admitir que el precio total de conservacion de la vía es por dia y metro lineal de 0,ps01, ó por campaña y metro de longitud 2,50, luego para la longitud $6D$ será $15D$, y como en la campaña se trasportan 207.500 metros cúbicos, corresponde á cada uno $\frac{15D}{207.500}$.

Reuniendo los dos importes anteriores, tendremos

$$\frac{p'''}{N}=\frac{13{,}08D+236}{N}+\frac{15{,}00D}{207.500}=\frac{13.08D+236}{N}+0{,}00007D$$

De todo lo dicho se deduce que la fórmula (1) se convierte, para el caso tomado como ejemplo, en

$$P=p+p'+\frac{p''+p'''}{N}=0,0001D+0,319+0,00004D+0,048+\frac{13,08D+236}{N}+0,00007D;$$

ó bien

$$P=0,367+0,00021D+\frac{13,08D+236}{N}.$$

Si se quisiera conocer desde qué volúmen mínimo de desmonte seria ventajoso sustituir al carro por el wagon para una distancia media *D*, seria preciso igualar los precios de trasporte del metro cúbico hecho con carro y con wagon, y deducir el valor de *N*, adoptando la misma marcha que se siguió al establecer la comparacion entre el carro y la carretilla.

87. **Wagones conducidos con locomotoras.**—Cuando la distancia del trasporte sea tal que convenga emplear la locomotora en vez de caballos, se determinará el precio de trasporte del metro cúbico siguiendo un procedimiento análogo al del caso anterior, y teniendo en cuenta las modificaciones que lleva consigo el nuevo motor. En este caso, veremos más adelante que basta una sola vía ramificada en dos ó más cerca de los puntos de carga y de descarga, siendo fácil deducir el importe de su establecimiento con arreglo á los datos expuestos anteriormente. Para valorar los gastos de traccion debe tenerse en cuenta que la locomotora arrastrará 10 wagones de 3 metros de capacidad cada uno, ó sea 30 metros cúbicos por tren, con una velocidad media, tanto con carga como de vacío, y comprendiendo el tiempo invertido en tomar los wagones cargados y descargar un tren, de 15 kilómetros por hora, por lo tanto empleará en ir á la distancia *D* y volver un tiempo expresado por $\frac{2\,D}{15000}=\frac{D}{7500}$.

Suponiendo que el empresario se proporcione la locomotora cuyo valor sea de 15.000 pesetas, y que en cada campaña de ocho meses sufre una depreciacion de $\frac{1}{5}$ igual á........ 3.000

y que el interés anual del capital de adquisicion sea de 6 por 100.. 900

tendremos para gasto total por campaña............. 3.900

Si la locomotora trabaja en la campaña ocho meses á 24 dias por mes y 10 horas diarias, tendremos que el gasto por viaje será

$$\frac{3900}{8\times24\times10}\times\frac{D}{7500}= \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0{,}00027\ D$$

Los demás gastos de traccion se pueden apreciar en 1,ps 50 por kilómetro recorrido, ó sea para la distancia 2 D............................ 0,00300 D

Gasto total por viaje................ 0,00327 D

Y como cada tren conduce 30 metros cúbicos, el precio de traccion de uno será 0,ps 000109 D.

Para determinar el gasto ocasionado por los wagones admitiremos que la depreciacion de uno que valga 600 pesetas, sea ⅓ de esta cantidad por campaña de ocho meses, ó sean 200 pesetas, que unidas al interés anual de 6 por 100 del capital, ó sean 36 pesetas, forman un total por campaña de 236; luego para el tiempo invertido en un viaje, y por metro cúbico resultará

$$\frac{236}{8\times24\times10}\times\frac{D}{7500}\times\frac{1}{3}=0{,}00000546D$$

El wagon durante su carga ocasionará un gasto igual al de un viaje...... 0,00001600D

Conduccion al taller y guarda agujas... 0,ps 03

Importe del trasporte de 1^{m3}=........ 0,ps00013592D+0,ps03

Si el empresario no adquiere la locomotora la tomará alquilada, y suponiendo que el precio del alquiler sea 80 pesetas por dia de trabajo y 40 por dia de descanso ó de reparaciones, tendremos para el gasto mensual

$$(80\times24)+(40\times6)=2160 \text{ ps}$$

ó sea por viaje y metro cúbico $\frac{2160}{24\times10}\times\frac{D}{7500}\times{}^{1}/_{30}=0{,}00004\ D$

Todos los demás gastos serian los mismos que en el caso precedente y el importe del trasporte del metro cúbico resultaria á 0,ps 00006692 D+0,ps 03.

Tomando por base estos datos, ú otros parecidos, se han formado cuadros comparativos que determinan los precios de tras-

porte del metro cúbico de escavacion para varias distancias, con los diversos vehículos de que nos hemos ocupado anteriormente; pero tales cuadros son de escasa utilidad en la práctica, porque los datos en que se fundan varían con frecuencia en cada caso de aplicacion.

88. **Trasporte inclinado.**—Hemos visto en el núm. 79 las condiciones del trasporte inclinado y la relacion que entre él y el horizontal existe; de modo que es fácil referir al último los gastos inherentes al primero.

Admitiendo la significacion que entonces dimos á a' y a'' (fig. 104) tendremos que la distancia horizontal, equivalente á la inclinada que consideramos, se expresará por

$$18\,(a'+a'')+de$$

y por lo tanto el precio de trasporte se deducirá con arreglo á lo expuesto en los números anteriores, segun sea el vehículo que se adopte para ejecutar este trabajo.

Cuando se hace uso del aparato representado en las figs. 90 á 92, se conoce el tiempo que el motor invierte en subir una carretilla y bajar otra y en su enganche y desenganche; así es que sabiendo la parte de jornal que en este tiempo corresponde al motor y carretilleros, es fácil deducir el precio buscado para una carretilla ó para el metro cúbico.

89. **Trasporte vertical.**—Otro tanto puede decirse cuando es vertical el trasporte, haciendo uso de los tornos; puesto que el jornal de los motores, la velocidad de la subida, el tiempo y operarios invertidos en el enganche y desenganche y el volúmen de tierras trasportado, son cosas conocidas en cada caso de aplicacion y bastan para deducir el precio de que se trata.

Empleando la máquina de Coignet y segun bajen con la carretilla vacía uno ó dos operarios, se podrá deducir fácilmente el precio de que se trata, conociendo la velocidad con que marcha el aparato.

90. **Descarga.**—Para que los trabajos de movimiento de tierras marchen sin entorpecimientos y con regularidad, es preciso que en el punto de descarga se puedan vaciar los vehículos trasportados antes de la llegada de otros, y á este fin se adoptan varias disposiciones que son sobre todo necesarias, si tiene lugar la conduccion en trenes de wagones.

91. **Con vehículos ordinarios.**—Cuando la conduccion se hace con espuertas ó carretillas, la descarga se verifica directamente, y el tiempo invertido en la operacion es tan exíguo que no se tiene en cuenta para la determinacion de las distancias y precios de trasporte. Pero si se hace con carros es preciso volverle poco antes de llegar al punto de descarga, quitar la tablilla y volcarle, poniéndole despues en su anterior posicion, é invirtiéndose en estas operaciones un tiempo variable con el número de caballerías y la facilidad con que se incline la caja, pero que siempre está comprendido entre $0,^{h}03$ y $0,^{h}04$, como se ha dicho más atrás.

92. **Con wagones.**—La descarga con wagones, que principalmente se emplean en la construccion de los ferro-carriles, puede tener lugar de dos modos distintos, llamados *sistema inglés* y *francés*.

93. **Sistema inglés.**—Consiste en establecer, cerca del extremo *mn* del terraplen que se forma, tres vías paralelas a, a', a'' (fig. 105), las cuales se reunen á poca distancia en una sola que inmediatamente despues se divide en dos. En una de estas dos vías se detienen los wagones que llegan cargados y en la otra se van colocando los vacíos, debiendo ambas presentar la longitud necesaria para contener un tren. Si con estas vías llega un tren *c* de wagones cargados, toma el primero de éstos uno de los caballos destinados al servicio de la descarga, y le conduce al trote pasando por la vía única hasta cierta distancia de la extremidad de una de las tres vías, en cuyo punto le desengancha el hombre que le lleva de la brida, tirando de la cuerda (fig. 69), y en virtud de la velocidad adquirida llega el wagon hasta el borde del terraplen, donde se practica un rebajo en la vía, como se dijo más atrás (61), ó se coloca una traviesa sobre los carriles, que detenga bruscamente la marcha del vehículo. En el momento de llegar á este punto, un buen operario, provisto de una pala, abre el pestillo de la portezuela, y por efecto del choque, se inclina la caja y arroja á cierta distancia las tierras. Hecho esto, se vuelve la caja á su posicion, y toma de nuevo el mismo caballo al vehículo, que le conduce á la vía *b* de los wagones vacíos, pasando inmediatamente á coger otro cargado, con el que se repiten las mismas operaciones. Mientras tanto, se verifica del mismo modo la descarga en las otras dos vías.

El terraplen va adelantado de esta manera, y cuando ha llegado á avanzar la longitud de un carril, se prolongan las vías en esta longitud, haciendo siempre que los carriles extremos presenten una pequeña inclinacion, con el fin de facilitar la marcha de los wagones cargados. Como la colocacion de los carriles sobre el terraplen recien hecho es difícil y poco segura, se hace uso de un bastidor (fig. 106) compuesto de fuertes largueros de madera que llevan la prolongacion de la vía y que teniendo una base más ancha se hunden ménos en el terraplen. Los wagones cargados pasan de los carriles ordinarios á los que están fijos á este bastidor, en cuyo extremo se pone una traviesa, como se ha dicho antes.

Cuando el terraplen ha adelantado la longitud de un carril, se engancha al bastidor un caballo, que auxiliado con operarios provistos de palanquetas corren el bastidor la longitud suficiente para que en el claro que resulta se prolongue la vía en la longitud del carril. Si de esta manera se han prolongado las tres vías de 40 á 50 metros, se traslada el sistema de cambio y cruzamiento de vía aproximándolos al punto de descarga, á fin de disminuir en lo posible la distancia del punto de parada de los wagones cargados y vacíos á los extremos de dichas vías; porque esta distancia es la causa principal de las pérdidas de tiempo que tienen lugar en el punto de descarga.

94. **Sistema francés.**—Recibe este nombre cuando se hace uso en la descarga de un aparato llamado *ballena*, que en su parte esencial consta de dos vigas *aa* (figs. 107 y 108) apoyadas por un lado en el extremo del terraplen que se ejecuta, y por el otro en una armazon de madera *bb*, de suficiente altura, que insiste en ejes provistos de ruedas *rr*, las cuales pueden recorrer una vía férrea provisional establecida sobre el suelo, al pié del terraplen. Las vigas *aa*, que sostienen en su cara superior una via férrea, se apoyan en la armazon de tal manera que pueden ponerse á diferentes alturas, segun sea más ó ménos elevado el terraplen, y la vía establecida sobre éste se encuentra prolongada con la de la ballena.

La descarga se verifica separando del punto en que se ha detenido el tren de wagones cargados unos cuantos, cuya longitud sea igual á la de la ballena, y aproximando este pequeño tren al borde del terraplen se desengancha un wagon que se

lleva al principio de la ballena para vaciarle. Si es de los que vierten por delante, cae la carga en el intervalo de las dos vigas *aa*, y si lo verifica de costado se formarán las partes laterales del terraplen. Una vez descargado el primer wagon se le corre hasta el extremo de la ballena, repitiéndose la operacion con los demás del pequeño tren, y enganchando despues un caballo se le saca de la ballena y se le conduce al depósito de wagones vacíos. Inmediatamente se lleva á la descarga otro pequeño tren y se repite esta operacion mientras haya wagones cargados.

Cuando las tierras vertidas empiezan á cegar el pié de la ballena, se la adelanta por el ferro-carril establecido en el suelo y se corren las vigas *aa* sobre el terraplen, por medio de crics y palancas. La vía inferior está siempre formada con los mismos carriles que se van quitando por el lado de la línea de paso, y se los coloca por el opuesto.

El empleo de las ballenas puede ser en algunos casos de gran utilidad; pero no se las debe usar sino en terraplenes cuya altura esté comprendida entre 3 y 10 metros, y cuya longitud sea grande, descansando sobre un suelo poco accidentado. Las ballenas más sencillas, como la representada en la figura, de 12 metros de largo y 6 de altura, cuestan unas 300 pesetas; pero hay otras de dos vías y de dimensiones mayores, que han costatado hasta 5.000

De las observaciones hechas sobre el método inglés por M. Etzel (a) en diversos ferro-carriles de Inglaterra, y teniendo en cuenta las pérdidas de tiempo causadas, tanto por el alejamiento de las vias de depósito, como por la remocion de los cambios, y siendo de 10 horas el tiempo del trabajo diario, ha deducido: 1.°, que con tres vías de descarga dispuestas como aparecen en *a*, *a'* y *a''* de la fig. 105 se pueden vaciar diariamente 240 wagones que á 1,50 por wagon forman 360 metros cúbicos; 2.°, que con cuatro vías como las de la fig. 109 se pueden descargar 420 wagones ó 630 metros; 3.°, que con seis vías colocadas segun la fig. 110 solo se descargaban 480 wagones ó 720 metros; y 4.°, que en la

---

(a) Véase su obra titulada *Essai sur la disposition des grands chantiers de terrassement*, § III.

formacion de un terraplen en dos tongadas con 10 vías como las representadas en el conjunto de la fig. 105, se descargaban 600 wagones, equivalentes á 900 metros cúbicos.

Resulta de esta comparacion que la cantidad de trabajo obtenido aumentaba en una proporcion mucho menor que el número de vías de descarga; y que las pérdidas de tiempo ocasionadas por una gran distancia desde el punto de depósito de los wagones al de descarga, y por la remocion de un sistema de vías muy complicado podia neutralizar con exceso la ventaja de establecer una vía más de descarga. Por otra parte, empleando la ballena se puede descargar al dia 400 wagones, ó sean 600 metros cúbicos, si bien no siempre se llega á este resultado, sobre todo cuando el terreno es muy accidentado, en cuyo caso no conviene su empleo, por el coste que origina el establecimiento de la vía inferior, el del aparato, las frecuentes remociones que éste exije y las interrupciones consiguientes en la descarga. Estos datos pueden servir de guia en la adopcion del método que en cada caso particular pueda ser más conveniente, ya se considere la cuestion bajo el punto de vista de la economía, ya en el concepto de la rápida ejecucion de las obras.

95. **Herramientas.**—Al verterse las tierras no suelen quedar en la posicion que deben tener, y se las esparce convenientemente por medio de *rastras* (fig. 111), que consisten en una tabla en forma de segmento, con un mango casi perpendicular á ella. El borde rectilíneo se refuerza á veces con una chapa de palastro, y otras se colocan en él varias puas de hierro formando el *rastrillo*.

Con objeto de disminuir el asiento de los terraplenes, se los comprime á medida que se ejecutan, ya sea por el tránsito de los vehículos empleados en el trasporte, ya por la percusion de *pisones* de madera (figs. 112 á 114) de unos 10 kilógramos de peso, cuya maza puede ser plana, estriada ó cuneiforme. A fin de que produzcan el efecto que se busca, se vá formando el terraplen por capas de 20 á 30 centímetros de espesor, que se apisonan sucesivamente. Algunas veces se hace tambien uso de pisones con maza de hierro.

96. **Ejecucion de los terraplenes.**—Para que un terraplen se una bien al terreno sobre que descansa, es necesario ante todo limpiar éste de cuanto pueda originar despues resbalamientos

ú oquedades y las consiguientes depresiones; así es que antes se arrancan las cepas y raices de los árboles y si existen prados se labran ó cavan para promover la conveniente ligazon entre el suelo y el terraplen. Si entre las tierras vertidas hay bloques de piedra, conviene que no queden en mútuo contacto, porque entonces aquellas no podrian rellenar los huecos que resultasen, y por la misma razon se deshacen los grandes terrones que pueda haber.

Si el terraplen debe existir sobre un suelo muy inclinado, como sucede con frecuencia en las vías que siguen una ladera, se corta el terreno en escalones de 0,m50 á 1 metro de altura, dando al plano de las caras superiores cierta inclinacion en sentido contrario á la del suelo, á fin de oponerse al resbalamiento del terraplen, el que muchas veces ha tenido lugar en tales casos por no tomar esta precaucion.

Los terraplenes contiguos á las obras de arte se ejecutan en una longitud al ménos doble de su altura con tierras escogidas, subiéndolos al mismo tiempo por ambos lados de las bóvedas en capas de unos 25 á 30 centímetros de espesor bien apisonadas, á fin de no producir empujes desiguales ni asientos de consideracion.

Si fuera compresible el terreno sobre que insiste un terraplen se puede apelar á diversos medios para darle la solidez necesaria, unas veces aplicados aisladamente y otras combinados entre sí. Estos son: sanear el subsuelo préviamente; quitar la capa comprensible; formar una base artificial con faginas, pilotes ó pozos rellenos con materiales resistentes; ensanchar la base de apoyo del terraplen ó componerle con materiales muy ligeros. De estos diversos procedimientos nos ocuparemos al tratar de la conservacion de esta clase de obras.

Segun se haga uso de las carretillas, los carros ó los wagones, para el trasporte, se admite que el espesor de las capas del terraplen sea de 20, 30 ó 40 centímetros.

ARTÍCULO IV.

Organizacion de los trabajos.

97. **Principios generales.**—Es indudable que para obtener en la ejecucion de una obra cualquiera un buen resultado, bajo el punto de vista económico, es necesario disponer los trabajos de tal suerte, que lo mismo los operarios que los medios de trasporte estén constantemente en actividad; pero si se atiende á la rapidez en la terminacion de la obra será preciso además atacarla simultáneamente en el mayor número de puntos posible. Esta doble condicion, de la cual depende la ganancia ó la ruina de quien ejecuta una obra, es lo que constituye la organizacion de los trabajos. No es fácil dar reglas generales sobre este punto, que en muchos casos depende de circunstancias de localidad; pero será conveniente examinar las disposiciones que han dado más ventajosos resultados, sobre todo en los movimientos de tierra de gran importancia, como sucede en los ferro-carriles, que es cuando ejercen mayor influencia, y éstas podrán en lo sucesivo servir de guia en los casos que se presenten, siempre que se adopten con recto criterio.

Esta organizacion conviene examinarla en los desmontes, trasportes y terraplenes, segun se ve á continuacion.

98. **Desmontes.**—Entre las diversas disposiciones que se han adoptado en esta operacion, parece la preferible y la que ha dado mejores resultados, cuando la profundidad del desmonte no excede de 6 metros, empezar por abrir, segun el eje del trazado y al nivel definitivo de la vía, una zanja ó trinchera de 6 metros de ancho, que se hace avanzar con actividad por los medios ordinarios. Cuando ha alcanzado la longitud de un tren de wagones, se establecen dos vías férreas de explotacion, separadas de eje á eje al ménos tres metros (fig. 115) (a) las que se reunen en una, *cd*, cerca de la línea de paso, bifurcándose un poco más

(a) Con esta separacion y teniendo en cuenta que el ancho ordinario de los wagones es de 2 metros, quedará siempre entre dos trenes contiguos un espacio libre de un metro para la circulacion.

lejos segun *f,g*. En este estado, y suponiendo que en una de las vías *a* ó *b* haya un tren, se prosigue la escavacion lateralmente hasta que su parte inferior quede un poco más alta que el borde superior de los wagones, segun se ve en *rs* de la seccion trasversal, vertiendo directamente en estos los productos escavados.

Una vez formada la banqueta *rs* de $1,^{m}50$ á 2^{m} de ancho en toda la longitud y á ambos lados de la zanja, se colocan trasversalmente maderos, sobre los que se ponen tablones para formar superiormente á los wagones los pasos necesarios al servicio, consolidando, si fuera preciso, estos pasos por medio de piés derechos situados en la entrevía. La escavacion se continúa á derecha é izquierda de la zanja en todo el ancho del desmonte, llevándose los productos con carretillas por los pasos de que se ha hablado, hasta verterlas directamente sobre los wagones, segun se ve en mayor escala en las figs. 116, 117 y 118. lám. 7.

Si la profundidad del desmonte excede de 6 metros, se divide en varias capas, haciendo que la inferior, tenga una altura poco mayor que la de los wagones. Los trabajos se empiezan explotando la capa superior de la manera descrita en el caso precedente; pero cuidando de establecer la zanja de explotacion á un costado del desmonte como se indica en la fig. 57, y cuando haya adelantado bastante se comienza el ataque de la capa inmediata inferior, colocando la zanja más hácia el centro, y uniendo las vías correspondientes, de modo que los trabajos no sufran entorpecimientos. De la misma manera se explotaria otra capa más baja si la hubiera, cuidando en todos los casos de ir adelantando los cruzamientos de vía á medida que progresa la explotacion, y enlazando entre sí las vías de las diversas capas por medio de rampas que pueden tener hasta 2,5 por 100 de inclinacion.

99. **Trasportes.**—La organizacion de los trasportes se puede descomponer, como hemos hecho hasta aquí, en la correspondiente á la carga, conduccion y descarga.

100. **Carga.**—Segun que el desmonte no llegue ó pase de 6 metros de profundidad, varían las disposiciones adoptadas en esta operacion; pero en todos los casos se trata de proporcionar la mayor extension posible de cargadero, á fin de que pueda tener lugar dicha operacion simultáneamente en gran número de wagones.

La carga se verifica siempre en uno de los trenes que se encuentren en las dos vías de explotacion, de modo que si en la *a*, por ejemplo (fig. 115), existe un tren ya cargado, pasan los operarios al otro lado y cargan el que se encuentra en la *b*, mientras se saca con caballos el tren *a*, que se deposita en la vía *f*, y se toma otro vacío qne estará en la *g*, conduciéndole á la *a* en reemplazo del anterior. En el tiempo invertido en estas maniobras se ha debido cargar el tren que estaba en la vía *b*, con el cual se hacen despues las mismas operaciones que con el *a*. Hecho esto, y terminado el desmonte de la parte superior, se le completa escavando los macizos laterales *srtuv*, cuya altura es algo mayor que la de los wagones, como ya se ha dicho, cargándose directamente con la pala; pero si el ancho de estos macizos fuera tal que no pudiera verificarse la carga directa, se establece otra vía á cada lado de las *a* y *b* y á su altura, la cual se separa lo conveniente para que pueda tener lugar la carga con pala. Estas dos vías se empalman á cierta distancia con las *a* y *b*.

A medida que el desmonte adelanta, va aumentando la longitud de las vías de explotacion *a* y *b*, y para que no aumente el tiempo invertido en sacar un tr en cargado y sustituirle con otro vacío, lo cual perjudicaria á la buena marcha y rapidez de los trabajos, se adelanta tambien el sistema de cambio y cruzamiento de vía, tal como se ha dicho más atrás, de manera, que las *a* y *b* conserven siempre una longitud poco mayor que la de un tren, dándolas de 40 á 50 metros de extension.

101. **Conduccion.**—Estableciendo vías férreas se puede verificar la conducion por medio de caballerías ó con locomotoras. En el primer caso, se continúan las dos vias *f*, *g* (fig. 115) hasta poco antes de llegar al descargadero, destinándose una á la ida y otra á la vuelta de los trenes. Si suponemos en la via *f* un tren cargado, se le conduce hasta cerca del punto de descarga y al llegar deberá encontrarse en la *g* otro tren ya descargado, que se vuelve con las mismas caballerías á la escavacion; y para que los trabajos marchen con regularidad, es preciso que el intervalo entre la llegada de dos trenes sea igual al tiempo invertido en descargar el primero y llevarle á la via de los trenes vacíos. Una cosa análoga deberá suceder en el punto de carga.

Por lo tanto, si se conoce la velocidad de la marcha de los trenes; el intervalo que debe haber de uno á otro, y la longitud de vía que deben recorrer, es fácil deducir el número de aquellos que convendrá establecer, como veremos despues (104).

Si se emplean locomotoras en la conduccion, las dos vias *f* y *g* solo tienen la longitud necesaria para contener un tren, reuniéndose despues en una hasta cerca de la descarga, donde se adopta una disposicion análoga á la establecida en la carga. Estas dos vías, situadas en ambos extremos, tienen por objeto servir una de depósito á los trenes cargados, y la otra á los vacíos, y para la regularidad en las operaciones será necesario dar á la locomotora una velocidad tal que el tiempo invertido en su viaje de ida y vuelta sea igual al empleado en cargar un tren en la escavacion ó en descargarle en el terraplen. Así es que al llegar con un tren lleno á la descarga deberá encontrarse con otro vacío en la vía correspondiente, al cual conduce á la carga, tomando despues otro cargado, y repitiendo estas operaciones con la menor pérdida posible de tiempo. La inclinacion de la vía recorrida por locomotoras no debe exceder de 25 por 1000.

102. **Descarga.**—Poco ó nada tenemos que añadir á lo ya dicho acerca de esta operacion y á la manera de disponerla para que los trabajos marchen con la conveniente rapidez; sin embargo, bueno será conocer que en cada vía de descarga es necesario que haya: 1.° Un caballo con su conductor; 2.° Un operario para la descarga del wagon; 3.° Un arreglador de las tierras vertidas, y 4.° Un guarda agujas.

103. **Terraplenes.**—En muchos casos se destina el producto de los desmontes para levantar terraplenes de forma y dimensiones definidas, y entonces hay que organizar convenientemente estos trabajos. Si se hace uso de las carretillas para este objeto y la altura del terraplen es grande, podrá abreviarse el tiempo de su construccion dividiéndole en dos ó más capas sobrepuestas que se pueden formar simultáneamente; pero cuidando de que la inferior vaya siempre algo más adelantada que la que está encima. A este fin se establecen, en los taludes laterales de la vía, rampas de comunicacion de una á otra capa con una inclinacion adecuada al vehículo empleado en la conduccion, y para formarlas se aprovecha la diferencia entre el talud definitivo del terraplen, que suele ser de 2 de altura por

3 de base, y el talud natural de las tierras que se admite como de 1 por 1. Estas rampas tienen segun se vé en la figura 119, lam. 6, la mitad de su ancho dentro del perfil definitivo *ab* del terraplen y la otra mitad fuera de él, igualándose despues de hechos los trabajos el perfil definitivo segun una superficie contínua. Una disposicion parecida puede adoptarse empleando carros, solo que entonces las capas del terraplen deben ser bastante altas para que quede de una á otra el ancho necesario para la marcha del vehículo, destinándose cada rampa al paso en un solo sentido, ó bien se puede hacer con este objeto la capa superior un poco más estrecha, rellenándola despues lo necesario para formar el talud definitivo; pero este último sistema no es muy recomendable.

Tambien se puede subdividir en capas la altura de un terraplen cuando es grande y se emplean en su construccion wagones y vías férreas, á cuyo fin se establecen lateralmente las vías de comunicacion de una á otra capa, como aparece en la fig. 105, con las inclinaciones convenientes que se indicaron al tratar de la carga; y de esta manera se obtiene el suficiente número de puntos de descarga para dar el impulso necesario á los trabajos.

104. **Número de vehículos.**—Conocido el plazo en que se ha de ejecutar el movimiento de un volúmen dado de tierras, y por consecuencia el número de metros cúbicos N que se han de remover al dia, es fácil, una vez sabido el tiempo que cada vehículo invierte en las tres operaciones de carga, conduccion y descarga, deducir el número de viajes que al cabo del dia podrá verificar, y el volúmen que diariamente trasportará; de modo que dividido N por este volúmen, se tendrá el número de vehículos necesarios para la ejecucion, en el plazo marcado, de la obra que se desea. Pero cualesquiera que sean la clase de vehículos que se empleen y el medio de conduccion que se adopte, siempre deberá suceder en cada caso de aplicacion cuando las obras marchen con regularidad, que el número de vehículos descargando sea igual al de los que están en la carga.

Así es, que si llamamos t, t' y t'' el tiempo en horas que un vehículo ó un tren emplea respectivamente en la carga, ida y vuelta y descarga, se tendrá que el número de viajes que podrá hacer al dia es $\frac{10}{t+t'+t''}$ y el volúmen trasportado en este tiem-

po será $\frac{10\,V}{t+t'+t''}$, llamando *V* su capacidad medida en el desmonte; por lo tanto, teniendo *N* la significacion ya dicha y representando por *n* el número de vehículos ó trenes buscado, tendremos

$$n=\frac{N\,(t+t'+t'')}{10\,V}$$

Pero si se tiene en cuenta: 1.° que en los trasportes por vías férreas al llegar á la descarga el primer tren lleno deberá encontrar otro vacío para conducirle al cargadero; 2.° que durante la carga y la descarga el motor no se detiene, como en los casos ordinarios, sino que sigue conduciendo un tren, ya lleno ó vacío, no influyendo entonces el tiempo invertido en estas operaciones respecto al volúmen total trasportado durante el dia, siempre que los trabajos se organicen como se ha dicho anteriormente, en cuyo caso $t=o$ y $t''=o$; 3.° que empleando una locomotora, el número de trenes es tres, puesto que mientras se conduce uno debe estar otro en la carga, y el tercero en la descarga, y 4.° que siempre hay en reparacion al ménos $^1/_5$ del número de wagones que están en servicio, tendremos por estas consideraciones que modificar la fórmula anterior para que comprenda todos los vehículos necesarios en estos trabajos, convirtiéndose entonces en

$$n=1{,}2\left(\frac{t'N}{10\,V}+1\right)\ldots.\ (A)$$

Esta expresion nos dice que el valor de *n* disminuye á medida que se reduce *t'* y aumenta *V*, ó lo que es lo mismo, á medida que aumenta la velocidad en la conduccion y la capacidad de los trenes. En efecto, si suponemos que tres caballos conducen un tren de 10 wagones, y contando con el tiempo perdido recorren al dia 20.000 metros, podrán hacer cinco viajes diarios si la distancia del trasporte es de 2.000 metros; de modo que si la capacidad de cada wagon es de 2^{m3}, conducirán diariamente 100^{m3}. Ahora bien, si el volúmen que en este tiempo se necesitase trasportar fuera de 500^{m3} se deberian establecer cinco trenes, que con el primero vacío serian seis, ó bien 60 wagones, que unidos á los que estuvieran en reparacion, formarian un to-

tal de 72 y 15 caballos. Pero si el trasporte se hace con locomotora y admitimos que con el tiempo perdido recorre en 10 horas de trabajo 100.000 metros, podrá hacer en este tiempo 25 viajes de ida y vuelta; y como tiene que conducir 500^{m3} habrá de llevar en cada uno 20^{m3} ó sean 10 wagones, que sumados á los de los otros dos trenes y á los que se encuentren en reparacion, componen 36. Vemos, pues, que en el primer caso se necesita doble número de wagones que en el segundo.

Por lo expuesto se deduce que el trasporte con locomotoras presenta, comparado con el de caballerías, las siguientes ventajas: 1.°, necesita un material de wagones mucho menor, y 2.°, la vía de trasporte es única, dando á la locomotora la velocidad necesaria para que la recorra de ida y vuelta, mientras por una extremidad se carga un tren y se descarga otro por la opuesta, cosa que no es posible conseguir con la velocidad que pueden desplegar los caballos y que obliga á establecer una vía de ida y otra de vuelta. Pero en cambio presenta algunos inconvenientes de los que son los principales: 1.°, tener que formar una vía mucho más resistente, por ser muy superior el peso de las máquinas con su tender (14 toneladas al ménos) al del wagon más cargado (unos 6.300 kilógramos), lo que obliga á adoptar carriles cuyo peso mínimo por metro lineal sea de 20 kilógramos, y á reducir la separacion de las traviesas á $0,^{m}90$, las que además deben ser más fuertes y colocarse con más esmero, y 2.°, el material móvil necesita presentar más solidez á causa de la mayor velocidad y de los choques más violentos que tiene que experimentar. Es necesario, por lo tanto, antes de adoptar una de estas soluciones, apreciar sus respectivas ventajas, y teniendo en cuenta el precio del trasporte con arreglo á la distancia, preferir la disposicion que ménos inconvenientes presente y dé en definitiva resultados más económicos.

105. **Caminos de trasporte.**—Una vez determinadas la zona en que se ha de practicar un desmonte y la que ha de recibir las tierras vertidas, hay infinitas maneras de realizar el trasporte respecto á las direcciones que en él pueden seguirse. Si en vez de trasportar el volúmen 1 á 1' (fig. 103) lo llevásemos á *a*, el 2 á *b* y así sucesivamente, las tierras próximas á *AB* tendrian que verterse en 1', 2'..., y estos caminos al cruzarse

serian más largos que los que van de 1 á 1' y sus paralelos. Es pues necesario que no se crucen los caminos de trasporte para que resulten lo más cortos posible y se obtenga la máxima economía.

Si se tuviera que sacar tierras de los puntos A y B (fig. 120) para depositarlas en los C y D, se puede determinar cual de los dos desmontes A ó B deberá destinarse á formar el terraplen D, de tal manera que no se cruce su camino con el del otro, y á este fin bastará hacer girar á C al rededor de la recta AB hasta que tome la posicion simétrica C' y desde luego se ve que el cruzamiento se evita llevando los productos de A á D y los de B á C' ó á su equivalente C. En efecto se tiene

$$AD+BC'<A\,C'+BD.$$

Si el punto C rebatido hubiera tomado la posicion C'' sucedería lo contrario. Ahora bien; representando por L y L' las distancias de C á A y B y por l y l' las de D á los mismos puntos, tendremos en general la desigualdad

$$l+L' \lessgtr L+l'.$$

En el primer caso los productos del punto A se llevarán al D y los del B al C, mientras que en el segundo sucederá lo inverso. Si en el rebatimiento tomara el punto C la posicion C' (fig. 121), no habria cruzamiento; pero siempre se podrá establecer la desigualdad anterior y deducir los caminos más convenientes en cada caso.

Si de cada uno de los dos puntos C y D (fig. 122) se ha de extraer un volúmen de tierras determinado, y tal que con su suma se haya de formar el terraplen AB, no es fácil conocer *á priori* la distribucion más conveniente de los productos de cada escavacion; pero si hacemos girar al punto C alrededor de AB hasta rebatirse en C' y dividimos la recta AB en dos partes BS y SA respectivamente proporcionales á los volúmenes D y C, es evidente, para que no haya cruzamiento, que los productos de D deberán llevarse á BS y los de C á SA. Pero si en el rebatimiento cayera el punto C' dentro del triángulo ABD (fig. 123) basta en las aplicaciones determinar el punto E por la interseccion de la recta que pasa por DC' con la AB y tomar á uno

y otro lado las longitudes FE y EG, cuya suma sea igual al volúmen que se haya de sacar de C.

De la misma manera, si suponemos que el terraplen AB (fig. 124) se ha de formar con las tierras del desmonte CD, y hacemos girar á la parte OC de éste hasta que tome la posicion OC', trazaremos desde D la recta DE tal que resulte $\frac{C'F}{BE}=\frac{CD}{AB}$. El terraplen BE se formará con los productos de $C'F$ y el EA con los de FO y DO en la proporcion correspondiente á la longitud de estas rectas.

Cuando el espacio comprendido entre el desmonte y el terraplen esté completamente libre, como se indica en proyeccion horizontal en la fig. 125, puede admitirse que la distancia media de los trasportes es la gg' de los centros de gravedad, si se lleva directamente la porcion m á m', la n á n', etc.; pero si hay un camino segun BB' y se le quiere utilizar, será preciso que la porcion m vaya á B y despues vuelva desde B á m'; y si bien así se aumenta la distancia media de trasporte, deberá examinarse si este exceso de gasto es mayor ó menor que el de la apertura de un nuevo camino directo, y preferir la solucion más conveniente. Aunque esté completamente llano el terreno entre el desmonte y el terraplen, solo se adopta en las aplicaciones un cierto número de caminos de trasporte, que despues de algun tránsito adquieren bastante dureza para facilitar el movimiento de los vehículos; y esta consideracion debe tenerse en cuenta en los casos examinados anteriormente para determinar la distancia y direccion de los trasportes.

106. **Límites de la compensacion.**—Ya hemos dicho que los terraplenes de las vías pueden formarse, bien por compensacion empleando los productos de los desmontes contiguos, ó bien por préstamos y caballeros, depositando las tierras de los desmontes cerca de éstos y tomando en las inmediaciones del terraplen las que han de formarle. Si el desmonte y el terraplen están próximos, desde luego se concibe que el primer procedimiento es el más económico; pero si la distancia va aumentando podrá llegar á un cierto valor, en que suceda lo contrario.

Para determinar la distancia hasta la que se obtiene más economía con el primer sistema que con el segundo, examinemos el coste de las operaciones que en cada caso hay que eje-

cutar. Siguiendo el primero, el gasto total estará dado por el importe de la escavacion en el desmonte y el del terraplen incluyendo la carga y descarga; así es que llamando V el volúmen del terraplen, P el precio de la escavacion del metro cúbico y x el de su trasporte á la distancia que se busca, el importe total será:

$$V(P+x)\ldots\ldots(1).$$

Si se adopta el segundo sistema se tendrá que hacer en el desmonte la misma escavacion y trasportarla para su depósito á una distancia conocida, aunque siempre menor que en el caso anterior; de modo que representando p el precio de este trasporte por metro cúbico é i la indemnizacion del terreno que se ha de ocupar, resulta que el importe por este concepto es $V(P+p)+i$. Pero además hay que verificar la escavacion del préstamo, cuyo precio por metro cúbico llamaremos P', designando el de su trasporte al terraplen por p' y por i' la indemnizacion del suelo escavado, y se tendrá en este otro concepto el valor $V(P'+p')+i'$, ó sea en total

$$V\Big((P+p)+(P'+p')\Big)+i+i'.$$

Igualando este importe con el (1) y despejando, tendremos

$$x=p+P'+p'+\frac{i+i'}{V}$$

Conocido el valor de x, es fácil deducir la distancia que le corresponde con arreglo á los vehículos que se empleen, haciendo uso de las fórmulas dadas al tratar del precio de los trasportes, y esta distancia será la máxima entre las que el terraplen formado por compensacion resulte más barato que por préstamo.

107. **Forma de los préstamos y caballeros.**—Es conveniente adoptar en las escavaciones de los préstamos la forma que produzca la mayor economía en la construccion del terraplen contiguo, y en este concepto se ha deducido que si s representa la mitad del área del perfil trasversal del terraplen, ó sea de la *defg* (fig. 126), se trazará desde el borde de la escavacion la vertical *ab* cuya longitud sea $\sqrt{\frac{2s}{12}}$, y por *b* la *bc*, con una pendien-

te de $^1/_{12}$ que determinará en seccion trasversal el fondo de la escavacion. La distancia entre el borde *a* y el pie *d* del terraplen debe ser al ménos de 2 á 3 metros.

Análogamente si á los lados de un desmonte (fig. 127), hay que formar caballeros, siendo *s* el área del semiperfil del desmonte, se tomará en la vertical *ab*, levantada en el pié del caballero, la altura $\sqrt{\frac{2s}{12}}$ y trazando la *bc* en rampa de $^1/_{12}$ se tendrá en seccion trasversal la coronacion del caballero.

108. **Refino.**—Se da este nombre á la operacion que tiene por objeto dar á los taludes de los desmontes y terraplenes la forma definitiva que han de afectar.

Ya se dijo al tratar de los desmontes que á los lados se dejan muchas veces rampas para el trasporte de las tierras; pero aun cuando no existieran, se cuida, durante la escavacion, de no llegar al talud definitivo, dejando un espesor que puede variar de 15 á 30 centímetros. Esta capa se quita una vez terminado el desmonte del terreno principal, dejando al talud con la inclinacion correspondiente. A este fin, y habiendo antes señalado en la superficie del terreno la línea de interseccion con el talud, se empieza el desmonte por la parte superior, abriendo estrechas fajas que siguen la máxima pendiente del talud, separadas segun los casos de 10 á 20 metros y empleando operarios diestros que comprueben la inclinacion por medio de reglones y niveles de talud.

Estos consisten generalmente en una tabla en forma de trapecio (fig. 128), que por un lado tiene una plomada y al coincidir con la línea de fé forma con el lado opuesto del trapecio el ángulo del talud. Una vez abiertas estas fajas, llamadas *maestras*, sirven de guia para el desmonte de los macizos intermedios.

Aun cuando no es posible dar reglas generales fijando la inclinacion del talud de los desmontes, pueden considerarse los siguientes datos como los más admitidos en las construcciones:

	TALUD.		INCLINACION.
	Altura.	Base.	Grados.
Rocas no heladizas................	1	0	90
Rocas flojas.......................	3	1	71 á 72
Arenas y gravas consistentes........	1,5	1	56 á 57
Tierras francas y ligeras...........	1	1	45
Arcillas deleznables................	0,5	1	26 á 27

A igualdad en la naturaleza del terreno, varía tambien esta inclinacion con la profundidad del desmonte, adoptándose en muchos casos las siguientes:

De 1 á 4 metros de profundidad, el talud es:

De....................	1 de base	1 de altura.	
De 4 á 8..............	5 »	4 »	
De 8 en adelante........	3 »	2 »	

Cuando las tierras que forman un terraplen son de tal clase que puedan los agentes exteriores degradarlas, se deja de poner en los taludes un espesor de 20 á 25 centímetros, y despues se recubren con una capa de dicho grueso, formada con tierra vejetal, la que se construye por tongadas horizontales de unos 0,^{m}20 de altura, perfectamente apisonadas. Esta tierra vejetal se extrae de la superficie sobre que insiste el terraplen, y de la correspondiente, á los desmontes ó préstamos. Para que el talud resulte con la inclinacion correspondiente, se colocan, cada 20 ó 30 metros, reglones de madera segun la pendiente y las inclinaciones del talud, y á medida que éste se va elevando se le comprime lateralmente con palas ó con un pison plano (fig. 129).

Si bien el talud usual de los terraplenes es de 1,5 de base por 1 de altura, hay ocasiones, como cuando se emplea la arcilla compacta, en las que se puede adoptar el de 1 por 1; pero en cambio, cuando el terreno sobre que insisten es muy poco resistente, se las ha llegado á dar 3 y 4 de base por 1 de altura.

PARTE SEGUNDA.

CONSTRUCCION DE LAS OBRAS DE ARTE.

109. **Consideraciones generales.**—Damos aquí el nombre génerico de *obras de arte* (a) á la gran variedad de las partes que entran á constituir una edificacion ó monumento, ya sea de utilidad pública ó privada. Estas obras dan lugar á numerosos oficios ó artes que tienen por objeto el trabajo y la preparacion de los materiales destinados á las construcciones, tanto siendo piedras naturales ó artificiales, como maderas ó metales.

Pudiera seguirse en este estudio el mismo órden en que hemos citado los materiales, examinando las reglas y condiciones que deben llenarse para colocarlos en la construccion á que se destinan; pero esto nos obligaria á repetir en distintos casos las mismas consideraciones y no daria una idea bastante clara de la disposicion y colocacion de los materiales cuando simultáneamente se emplean en la misma obra dos ó más de distinta clase. En su consecuencia empezaremos por estudiar la naturaleza y ejecucion de las diversas clases de fábricas que con más

(a) Aunque esta locucion no está admitida en castellano, en el sentido que la adoptamos, parece sin embargo conveniente su empleo, en atencion á que las usadas hasta ahora, como *obras de fábrica* y otras parecidas, son inexactas é incompletas. Además la frase adoptada es la misma que en igual sentido se emplea en francés, italiano y portugués.

frecuencia se emplean en estas construcciones; aplicaremos despues las reglas que se establezcan á la construccion de los muros y bóvedas en general; luego examinaremos la manera de construir ciertas partes comunes y principales de los diversos edificios, como suelos, cubiertas y escaleras, y por último consideraremos las accesorias, como son las puertas, balcones, verjas, para-rayos y otras más.

Conocidos de esta manera los elementos esenciales de toda obra de arte, el objeto que deben llenar y los procedimientos que se emplean en su construccion, es fácil disponerlos de un modo racional cuando se conoce el objeto y las necesidades que debe satisfacer la obra que se trata de realizar. De esta conveniente disposicion y de la buena ejecucion de las diversas partes que han de formar el conjunto, cuando una y otra están en armonía con la importancia y carácter de la obra, depende principalmente la belleza de las construcciones.

CAPÍTULO I.

Naturaleza y ejecucion de las fábricas.

110. **Clases de fábricas.**—El nombre de *fábrica*, que por lo regular solo se aplica á la construccion en que la parte principal son piedras naturales ó artificiales, se refiere á la calidad, forma, dimensiones y trabazon que tienen en cada caso los materiales empleados en una edificacion cualquiera. Las fábricas más empleadas pueden reducirse á las que se llaman de *sillería*, *sillarejo*, *mampostería*, *ladrillo*, *hormigon*, *tapial* y *mistas*: en todas ellas deberá atenderse á que resulte un conjunto homogéneo y cuyos componentes estén entre sí bien trabados, á fin de presentar en cada caso la conveniente resistencia.

Pasemos á estudiar cada una de estas fábricas.

ARTÍCULO I.

Sillería.

111. **Naturaleza de esta fábrica.**—La construccion levantada con sillares, se dice que es de *sillería*. Los *sillares* son piedras de forma paralelepípeda de 0,^{m}30 de grueso ó altura, por lo ménos, subordinándose á esta dimension las demás, segun sea

grado de dureza de la piedra, con arreglo á lo que ha admido la experiencia y aparece en el siguiente cuadro:

SIENDO EL GRUESO Ó ALTURA	CONVIENE QUE SEA El ancho.	CONVIENE QUE SEA La longitud.	CUANDO LAS PIEDRAS SON
1	1,5	2	Blandas.
1	1,5 á 2	2 á 3	De mediana dureza.
1	2	4 á 5	Duras.

Cuando los sillares, y en general los demás materiales, se olocan en la obra de modo que resulte su mayor dimension paalela al *paramento* ó superficie vista, se dice que están puestos *soga*; si la longitud es perpendicular al paramento, á *tizon*, y i el tizon abraza de un paramento al opuesto, se le da el nomre de *llave*. Cualquiera que sea la posicion en que se coloquen os sillares de una misma hilada, deberán todos tener una altua constante, para que resulte contínua la superficie superior le la misma, situando las juntas en el tercio central de los sillaes inferiores, y cumpliendo todas las demás prescripciones esablecidas en el estudio de la Estereotomia.

112. **Aparejos más frecuentes.**—En el dia se disponen los sillares con arreglo á sus dimensiones y al espesor de la obra en que se hayan de emplear. Se dice que la sillería es *regular* ó *isodomon* cuando todas las hiladas son de igual espesor (fig. 130 lámina 7): esta disposicion tiene lugar siempre que el grueso de la obra, que para fijar las ideas supondremos que sea un muro, es igual al ancho de los sillares, en cuyo caso éstos están todos colocados á soga. Si en la obra alternan de una manera regular hiladas de distinta altura (fig. 131), recibe la sillería el nombre de *pseudo regular* ó *pseudisodomon*. Cuando en la misma hilada se colocan alternativamente un sillar á soga y otro á tizon (fig. 132) se llama *diatonous*, y esta disposicion se emplea tambien con preferencia en las obras que tienen mucho espesor. Por último, se disponen los sillares de modo que los de una hilada estén todos á soga y los de la siguiente á tizon (fig. 133), aparejo muy empleado en el caso de ser el grueso de obra igual á la longitud de los sillares.

Hemos supuesto en los casos anteriores que el grueso de la

construccion era igual al ancho ó largo de los sillares; pero si fuera mayor se colocan los de los paramentos como se acaba de exponer, y los claros que resulten entre los de la misma hilada se llenan con otros sillares que se ajusten con los anteriores. Sin embargo, es muy frecuente encontrar gruesos muros cuyos paramentos se han formado con sillería y que el relleno es de mampostería; pero en tal caso constituyen más bien una fábrica mista de las que nos ocuparemos más adelante.

113. **Ejecucion de la fábrica.**—Dos procedimientos completamente distintos pueden seguirse en la ejecucion de esta fábrica: el de *cuñas* y el de *á baño flotante*; pero aunque el primero sea vicioso, le describiremos, así como el segundo, á causa de emplearse todavía en muchas obras, ya sea por descuido, ya por una economía mal entendida.

114. **Sistema de cuñas.**—Debe suponerse en toda sillería que los sillares están bien labrados con arreglo á las plantillas que han servido para determinar su forma; pero sucede á veces que ésta no es exactamente la que les corresponde, y si la superficie de hilada, por ejemplo, no formase con la del paramento el ángulo que debiera, al sentar la piedra sobre aquella, ésta resultaria fuera de su posicion. Se ha tratado de evitar este inconveniente poniendo entre la piedra que se considera y las de la hilada inferior cuñas de madera del grueso necesario para que introducidas más ó ménos resulte el paramento en la posicion que debe tener y quede su arista inferior á una distancia variable de 4 á 10 milímetros de la hilada que está debajo. Una vez hecho esto, se suele rellenar con mortero el hueco que queda entre las cuñas, si bien en muchos casos se suprime el mortero y el sillar insiste únicamente sobre éstas.

Este procedimiento, que es sin duda muy expèdito, tiene el grave inconveniente de que el sillar insiste tan solo en unos cuantos puntos de apoyo, que con facilidad pueden aplastarse por las cargas superiores, ó si esto no sucede, puede partirse la misma piedra, que se encuentra en condiciones de resistencia mucho menores que si se apoyara en toda la superficie de hilada. El empleo del mortero es únicamente un paliativo al mal, puesto que al fraguar se contrae bastante y queda el sillar casi en las mismas condiciones que tendria sin él.

Con el fin de permitir que al fraguar el mortero pueda des-

cender el sillar, se han empleado en vez de cuñas de madera otras de plomo, pero que tampoco llenan el objeto. Otro tanto puede decirse de varias disposiciones que con este fin se han adoptado, las cuales, á más de costosas, no impiden que la sillería construida de esta manera presente graves defectos bajo el punto de vista de la resistencia de la obra, razones por las que debe proscribirse en toda construccion de alguna importancia.

Aun cuando por la gran dureza del material no fueran de temer las roturas de que hemos hablado, cosa que rara vez sucederá en obras de alguna consideracion, siempre resultará un hueco ó separacion entre la superficie de hilada al contraerse el mortero, lo que perjudica al buen aspecto de la obra y la hace completamente inaplicable á trabajos hidráulicos.

115. **Sistema á baño flotante de mortero.**—Siguiendo este procedimiento es necesario exigir desde luego que los sillares ó dovelas tengan, con la exactitud que permite la labra, la forma que deben afectar, y más particularmente en las caras de hilada y de junta. Las de paramento pueden, en ciertos casos que indicaremos más adelante, estar solamente desbastadas, á reserva de labrarlas despues de concluida la construccion ó dejándolas en tal estado, si lo consiente la naturaleza de la obra.

Supongamos que existen una ó más hiladas ya construidas y que vamos á ejecutar la siguiente. Para esto empezaremos por *enrasar* el sobrelecho de la hilada inferior, esto es, haremos que presente una superficie bien uniforme, ya horizontal, ó con la inclinacion que deba tener, para lo cual se emplean reglas y niveles, como se dirá más adelante: si fuera necesario se hace que el cantero repase esta superficie para que resulte como debe estar. Hecho esto, y limpio el sobrelecho, se *presenta* el sillar en la posicion que ha de ocupar, haciéndolo provisionalmente sobre cuatro ó más cuñas de madera que tienen una misma altura, la cual no suele exceder de 1 á 2 centímetros, y comprobándose con los instrumentos referidos si las superficies de hilada, junta y paramento ocupan la posicion que deben tener. Si esto sucede con la suficiente exactitud, se quita el sillar, ya levantándole por medio de aparatos que describiremos en otro lugar, ya volcándole sobre la cara opuesta al paramento ó *cola*, y despues se limpia de nuevo y humedece el

sobrelecho de la hilada inferior, mojando tambien el lecho del sillar que se considera, y se extiende sobre aquel una capa de 1 á 2 centímetros de espesor próximamente, de buen mortero fino. En seguida se vuelve á colocar el sillar en la posicion que tenia cuando se le presentó, pero insistiendo únicamente sobre la capa de mortero, para lo cual se le mueve en sentido lateral con palanquetas de hierro y se le golpea por encima con pisones de madera hasta que la capa de mortero se reduzca al espesor que debe tener, el cual varía de ordinario entre 4 y 10 milímetros.

Puesto un sillar, se coloca el contiguo tomando las mismas precauciones y moviéndole lateralmente hasta que las dos caras de junta inmediatas dejen un intervalo igual próximamente al que queda entre las de hilada, el cual se rellena despues con mortero, que se introduce empleándo una paleta larga de forma especial (fig. 134) llamada *fija*. Puestos de este modo los demás sillares de la hilada, se enrasa ésta superiormente, como se ha dicho antes, para proseguir la construccion.

Si por la inclinacion del terreno no pudieran presentar los cimientos un plano horizontal, se los dispone en escalones que tengan de altura una ó más hiladas de la sillería, y ésta se empieza á construir en el escalon inferior hasta que enrase con su parte horizontal, continuándose de la misma manera en las demás hasta tener un plano horizontal en toda la extension de la obra.

En varias ocasiones no tienen labrado los sillares su cara de paramento, presentando tan solo las *cintas* ó *tiradas* del contorno, pero se colocan en obra como se ha dicho, y ya se dejan en este estado, cuando la construccion haya de presentar cierto carácter tosco, ó ya se labran despues de terminada. Esto último tiene lugar cuando han de aparecer varias superficies complicadas, molduras de diversas clases y en otros casos análogos. Tambien debé cuidarse, cuando los sillares provienen de rocas estratificadas, de colocar sus lechos normalmente á la direccion de las fuerzas que deban experimentar en la obra, para que presenten la mayor resistencia posible.

116. **Medios auxiliares de ligazon.**—Hay circunstancias en las que no bastan los medios que hemos descrito para dotar á una construccion de la solidez y resistencia necesarias, aun contando con la perfecta adherencia á los materiales del mortero

que se emplee, y entonces hay que apelar á medios de trabazon más ó ménos eficaces para conseguir el objeto, siendo los siguientes los principales.

1.° *Resaltos y rebajos* en las caras de hilada y de junta (figs. 135 á 138) que impiden el movimiento de un sillar cualquiera mientras no arrastre consigo á los contiguos; pero este medio exige una labra esmerada para que ajusten bien las caras que deben estar en contacto, y en algunos casos hay mucho desperdicio de material, lo que le hace poco recomendable.

2.° *Grapas* (figs. 139 y 140) que entran en pequeños rebajos hechos en dos sillares contiguos é impiden su separacion. Aunque se han empleado grapas de madera y otras sustancias solo son eficaces las de metal que presentan más facilidad en la ejecucion y mayor economía que los resaltos y rebajos.

3.° *Las espigas y dados* (figs. 141 y 142) son piezas, generalmente de piedra y á veces de madera, que entran en cajas abiertas en el sobre-lecho de un sillar y en el lecho del superior; su objeto es impedir el resbalamiento de una hilada sobre otra.

4.° *Las armaduras* se forman con largas barras de hierro horizontales ó verticales, que ligan una ó varias hiladas de piedra por medio de diversas combinaciones, como se ve en la figura 143. A veces presentan una gran complicacion, segun sea la forma de la obra en que se apliquen.

Siempre que sea posible debe dotarse á las obras de la solidez conveniente, solo por la forma y disposicion de las piedras que entran á componerlas, sin necesidad de apelar á estos recurcursos auxiliares, que no siempre son eficaces y llevan consigo un considerable aumento de gasto. Hay sin embargo circunstancias excepcionales en las que es necesario apelar á todos los medios de ligazon para que la obra posea la debida resistencia, y el exámen del siguiente ejemplo puede dar idea y servir de guia en casos de esta naturaleza.

117. **Ejemplo.**—Al Sur de Plymouth en la costa de Inglaterra, existe una roca en medio del mar sobre la cual se ha construido en 1759 por Mr. Smeaton un faro, que se encuentra en el mismo punto en que habian sido destruidos otros dos, uno por el fuego y el otro por las embravecidas olas del mar. A fin de evitar nuevas desgracias, se construyó el faro que hoy existe, llamado de Eddystone, segun se ve en seccion vertical en la

figura 144, dándole la forma más conveniente para reducir el efecto del choque de las olas y ligando perfectamente todos los sillares de una misma hilada y todas las hiladas entre sí. En circunstancias tan desfavorables no se podian admitir como medio bastante eficaz las grapas ordinarias, pues que su accion solo tiene lugar en el sobrelecho de las hiladas, sin ligar los lechos, como era necesario en este caso.

Con el fin de conseguir el objeto que se buscaba, se encajaron las seis primeras hiladas en la roca, enlazando entre sí las piedras de un modo análogo al que vamos á describir para la sétima, que ya se encontró en todo su contorno expuesta al embate del oleaje. La fig. 145 representa la proyeccion horizontal de esta hilada, para cuya construcion se comenzó por practicar en el centro de la sexta una caja cuadrada de 0,^{m}30 de lado y á cierta distancia constante de ella se abrieron otras ocho *a,a* del mismo ancho y 0,^{m}15 de profundidad. En la caja central se introdujo un prisma de mármol de 0,^{m}55 de altura, á baño de mortero hidráulico y bien ajustado, que sobresalia 0,^{m}23 del sobrelecho, sentándose encima el sillar central de la hilada que consideramos, el cual tenia un taladro en el centro de su lecho. Este sillar presentaba en sus caras laterales cuatro colas de milano, y una vez colocado se sentaron otros cuatro contiguos, los que á más del baño de mortero y de la forma en cola de milano de su junta, se sujetaban á la hilada inferior con espigas de encina, como veremos despues. Los cinco sillares ocupaban una zona circular de unos 3 metros de diámetro, presentando en su contorno ocho colas de milano, en las que se sujetaban otros tantos sillares inmediatos, siguiendo de este modo hasta el paramento de la obra: en las cajas *a,a* se colocaban dados de piedra, como se ha dicho para el punto central y segun puede verse en las figuras.

A más de ésto y con objeto de ligar cada piedra con las de la hilada inferior, se abrian desde el lecho al sobrelecho y hácia su parte externa dos taladros de unos 0,^{m}04 de diámetro: despues de colocada se continuaba profundizando el taladro en la hilada más baja, como 0,^{m}20 y con un diámetro 0,^{m}003 menor que el de encima. Una espiga de madera, que se calibraba bien, pasaba sin dificultad por la parte superior del taladro; pero en la inferior tenia que entrar á percusion, y despues se cortaba á

la altura del sobrelecho, acuñándola perfectamente en el taladro.

Alguna de estas disposiciones podrian en el dia hacerse más eficaces por otros medios de que ahora dispone el arte de construir; mas sin embargo los descritos dan bien á conocer el esmero con que esta fábrica debe ejecutarse en los casos en que haya de resistir á grandes fuerzas exteriores.

118. **Empotramientos.**—Los medios auxiliares de ligazon, de que hemos hablado, se fijan á las piedras por medio de empotramientos, que consisten en ciertos rebajos practicados en los puntos convenientes, en los que se introduce la pieza auxiliar, rellenando los huecos que quedan entre ésta y el rebajo con una materia líquida ó pastosa, que al solidificarse, se contraiga poco y se adhiera perfectamente á los cuerpos contiguos, sin alterar su resistencia.

Se han empleado con este objeto diversas sustancias, como el yeso, el azufre y varias mezclas resinosas; pero en el dia solo tienen aplicacion conveniente el plomo, los morteros hidráulicos y los cementos. El primero, que se ha usado desde una remota antigüedad, es muy duradero y satisface el objeto apetecido, si bien se contrae bastante al enfriarse, lo que obliga á comprimirle despues con punteros para que rellene las cavidades que pueda dejar, y á verterle en dos ó más veces. Los morteros hidráulicos de buena calidad, y sobre todo los cementos, son sin duda alguna las sustancias mejores para este fin, los que en unos casos se vierten primero en el rebajo colocando la pieza auxiliar antes de que fragüen, y en otros se vierten despues de colocada. Debe siempre evitarse que queden entre los materiales que forman el empotramiento la menor burbuja ú oquedad, lo que dañaria al resultado que se desea obtener.

No se deben emplear piezas de madera ó de metal sin haberlas de antemano embreado ó pintado al óleo perfectamente, á fin de que la humedad de la fábrica no pueda alterar su resistencia ó volúmen. Si esto no fuera fácil de conseguir, es preferible reemplazar el hierro con el cobre ó el bronce, que no tienen el citado inconveniente, pero que resultan mucho más caros.

119. **Retundidos y rejuntados.**—A pesar del esmero que debe tenerse en la ejecucion de esta fábrica, muchas veces re-

sultan en el paramento pequeñas irregularidades que es conveniente desaparezcan por medio del *retundido*. Esta operacion, que se empieza en la parte superior de la obra, consiste en repasar las cintas contiguas de los sillares, si forman resaltos unas respecto de otras, hasta que aparezcan en el plano en que deben quedar, y á veces en labrar las molduras y demás adornos que hayan de resultar en el paramento, ó en reparar todos los desperfectos que hayan sufrido los materiales durante el curso de los trabajos.

Como estas labras y reparaciones son en general mucho más costosas despues de puestos los materiales en la obra que antes, deben evitarse en cuanto sea posible, á cuyo fin se los lleva y coloca con el mayor cuidado, recubriendo con esteras, espuertas ó tablas las aristas y molduras que puedan degradarse fácilmente por los choques, y tomando todas las precauciones indicadas para el asiento. Si á pesar de esto hubiera en cualquier sillar algun desperfecto poco importante, se le repara con mastic de cantero, ó mejor con cemento unido á piedra triturada de la misma naturaleza que la que se repara, el cual al fraguar se une perfectamente al sillar y adquiere su mismo color.

La operacion del *rejuntado*, que tiene por objeto impedir la degradacion del mortero en los paramentos y el desarrollo de vejetaciones parásitas, es la última que en esta fábrica se verifica, y consiste en quitar el mortero de las hiladas y juntas en una profundidad próximamente doble de su grueso (1 á 2 centímetros), y despues de limpias y humedecidas rellenarlas con otro de eleccion, al cual se le da el color de la piedra, mezclando un poco de negro de humo ó de ocre amarillo. Cuando este mortero ha adquirido cierto grado de consistencia, se le repasa varias veces con una paleta muy estrecha, llamada *palustrillo* ó *palustre*, hasta que la superficie quede bien lisa. Esta superficie no debe formar saliente ni entrante alguna respecto al plano que determinan las dos aristas contiguas, á fin de impedir que las aguas se detengan en ella y puedan perjudicarla.

Para que llenen su objeto los rejuntados se deberán hacer en la sombra y cuando el tiempo esté húmedo, con objeto de impedir que el mortero se seque con demasiada rapidez; pero deberá, por otra parte, haber fraguado antes de las primeras heladas, á fin de que éstas no le destruyan y se tenga que for-

mar de nuevo en la primavera siguiente. Algunas veces se emplean en esta operacion morteros más ó ménos hidráulicos, bien porque así lo exija la naturaleza de la obra, bien por estar próxima la época de las heladas.

120. **Rebajos.**—Hemos supuesto hasta ahora que las piedras son de forma prismática exacta; pero no siempre sucede esto en las aplicaciones. Hay muchos casos en que la cara opuesta al paramento de un sillar es algo menor de lo que debiera (fig. 146), y entonces se sienta en obra, tomando las precauciones que hemos dicho, y despues se acuñan con ripio, introducido á percusion en el mortero, los espacios *abc* que resulten entre las hiladas ó las juntas. Esta reduccion de dimensiones en la cola de la piedra conviene que sea lo menor posible, para que posea la estabilidad necesaria, y nunca debe exceder de $^1/_3$ de la distancia *bd*.

A pesar de esto, se han levantado construcciones de mucha importancia, como el Panteon de París, en las que se reducia el grueso aparente del mortero en las hiladas y juntas del paramento, á cuyo fin solo tenia de 10 á 15 centímetros la parte plana *bd*, rebajando el resto de las caras de los sillares y dejándolas toscamente labradas. El mortero rellena los huecos que así resultan; pero su mucho grueso interior hace que al contraerse experimente la obra un asiento grande y desigual, que no tan solo llega á romper las aristas de los paramentos sino que pone en peligro la estabilidad de la construccion, teniendo en tal caso que recurrir á reparaciones difíciles y costosas, como sucedió en el citado edificio.

Otros rebajos se hacen en la sillería cuando se la quiere dotar de un carácter de gran robustez, los cuales en nada perjudican á su resistencia y reciben el nombre de *almohadillados*. En las figs. 147 á 149 aparecen en seccion vertical tres de las disposiciones más usadas de almohadillado, el cual sigue la direccion de las líneas de hilada en el paramento. Sus dimensiones suelen variar de 3 á 6 centímetros de altura y de $^1/_2$ á $^2/_3$ de esta dimension en profundidad. No solo se adopta el almohadillado en las líneas de hilada, sino tambien en las de junta cuando se quiere acentuar más la solidez de la construccion; y en tal caso resulta el paramento de cada sillar formando un recuadro (fig. 149) cuya parte central se adorna alguna vez, aunque

rara, con salientes en formas diversas, pero siempre muy sencillas.

121. **Carretales.**—Una variante de la fábrica de sillería es la llamada de *carretales*, que consiste en grandes sillares toscamente desbastados, pero teniendo una altura constante, los cuales se sientan á baño flotante de mortero, ripiando con cuidado los huecos que resulten. A veces se suprime en esta fábrica el empleo del mortero, y queda *en seco*; pero de todas maneras es conveniente que cada carretal se apoye en una gran superficie sobre los inferiores, independientemente del acuñado, para que la obra resulte con la solidez necesaria.

Esta fábrica, que en rigor no es más que una sillería tosca, solo tiene aplicacion en los cimientos de las obras importantes, hasta poco antes de llegar á la superficie del terreno, desde cuyo punto se hace uso de la sillería ordinaria; y tambien se emplea unida á la sillería, cuando ésta, por ser muy grande el espesor de la obra, solo ocupa la parte contigua al paramento.

ARTÍCULO II.

Sillarejo y mamposterías.

122. **Fábrica de sillarejo.**—Si en la fábrica que acabamos de describir se supone que las dimensiones de los sillares se reducen á 0,m20 proximamente de altura, el doble de ancho y el triple de longitud, se tendrá la llamada de *sillarejo*. Pero como este material tiene de ordinario una labra bastante ménos esmerada que la sillería, y el peso de las piedras es en este caso mucho menor, se simplifican las operaciones en la ejecucion de esta fábrica, como vamos á indicar.

Antes de comenzar la construccion de una hilada se enrasa y limpia el sobrelecho de la inferior, y mojando despues una parte de éste y el lecho del sillarejo que ha de cubrirla, se extiende una tortada de mortero entrefino de 2 á 3 centímetros de grueso. Sobre ésta se sienta desde luego el sillarejo, y se le golpea con mazos de madera hasta que el espesor del mortero se haya reducido á 1 ó 1,50 centímetros, y la cara del paramento ajuste perfectamente con el general de la obra. Hecho esto, y antes de colocar el inmediato, se guarnece en el primero con

mortero la cara que ha de formar la junta, y despues se sienta el segundo de la manera que se acaba de decir, cuidando de comprimirle lateralmente hasta que el grueso de la junta sea de 1 á 2 centímetros.

Los sillarejos deben sentar por igual sobre el mortero de la hilada; pero si fueran un poco delgados por la cola, se los acuña como se dijo en la sillería, y se impide como entonces que haya juntas corridas en el interior de la fábrica, á fin de evitar la desigualdad en los asientos.

123. **Mamposterías.**—Cuando las piedras que entran á formar una hilada no tienen la misma altura ó grueso, recibe la fábrica el nombre de *mampostería*, siendo su carácter distintivo la falta de continuidad en las superficies de hilada. Pero las piedras que entran á formarlas, llamadas *mampuestos*, pueden presentar formas más ó ménos irregulares, y de aquí las diversas clases y denominaciones que esta fábrica recibe, de *mampostería concertada*, *careada* y *ordinaria*.

De esto se deduce que en la ejecucion de la mampostería se habrá de prescindir del enrase de las hiladas; y á causa de la irregularidad de los mampuestos, no solo deberá ser mayor el espesor del mortero en las hiladas y juntas para que pueda rellenar por la compresion las oquedades que resulten, sino que siempre será necesario el empleo del acuñado, el cual adquirirá tanta más importancia para la solidez de la obra, cuanto mayores sean las citadas irregularidades.

Examinemos por separado las tres clases de mampostería referidas, que son las de más frecuente aplicacion.

124. **Mampostería concertada.**—Si los mampuestos están labrados solo con el picon, pero presentando en el paramento formas próximamente geométricas y sus caras de asiento son planas, más ó ménos extensas y regulares, forman la *mampostería concertada* (fig. 150). Como es necesario para la buena trabazon de la fábrica que las juntas estén interrumpidas, y como los mampuestos presentan alturas diferentes, deberán algunos aparecer con ángulos entrantes que cubran los escalones de la hilada inferior, sin necesidad de que resulte en el paramento ninguna clase de ripio ó acuñado.

La ejecucion de esta fábrica se verifica examinando, en un punto dado de una hilada construida, la forma más apropiada

que deberá tener el mampuesto que se coloque encima, para que ajuste bien con los inferiores y resulte su cara vista en el paramento de la obra. En seguida escoge el mampostero entre las piedras que tiene cerca la que mejor llena estas condiciones, ó la dá, si es necesario, la forma que deba tener, por medio de una labra tosca, y despues de limpia y humedecida la parte superior de la hilada hecha y las caras de contacto del mampuesto elegido, extiende sobre la primera una tortada de mortero grueso de 3 á 5 centímetros de espesor, segun sea más ó ménos regular la forma de la piedra. Despues asienta ésta y la golpea con el martillo hasta que la cara correspondiente resulte en el paramento y se reduzca en éste el grueso del mortero á 15 ó 20 milímetros: por la cola y á los costados se la acuña convenientemente para que tenga un buen asiento y presente un hueco bastante regular, que se llena, siguiendo el mismo procedimiento, con el mampuesto contiguo.

La menor dimension que deben tener los mampuestos es de 20 centímetros próximamente, cuidando siempre de colocarlos en la posicion de máxima estabilidad y no empleando más ripio que el absolutamente indispensable.

Es necesario, á causa de la misma irregularidad de esta fábrica, que el mampostero tenga la práctica suficiente para escoger desde luego la piedra más á propósito en cada caso, á fin de que con la menor preparacion posible ajuste con bastante exactitud en el hueco que debe ocupar. De esta práctica depende principalmente, no solo la buena ejecucion de la obra, sino la mayor rapidez y economía en el resultado final.

125. **Mampostería careada.**—Haciendo la preparacion de los mampuestos solo con el martillo, no es posible dotarlos de ángulos entrantes, y aparecen más toscos que en el caso anterior, constituyendo la *mampostería careada* (fig. 151). Su ejecucion es en todo semejante á la concertada, pero teniendo en cuenta la irregularidad de los mampuestos y de los huecos que deben ocupar, se admite el ripiado no solo en el interior de la fábrica sino tambien en los paramentos. Esto no obstante, conviene que los ripios de paramento no tengan un espesor mayor de 5 á 6 centímetros y que dejen intervalos bastante grandes de contacto directo entre los mampuestos contíguos.

126. **Mampostería ordinaria.**—En esta se suprime por com-

pleto la preparacion de los mampuestos, ó á lo más se reduce á regularizar con el martillo las caras que han de quedar vistas. El ripiado aumenta en extension é importancia; puede aparecer en una gran parte del paramento y adquirir en ciertos puntos un grueso algo mayor que en el caso precedente (fig. 152).

Aun cuando los mampuestos sean irregulares, no deben admitirse los que afecten una forma redondeada y ménos con la superficie lisa, como en muchos casos se hace en el interior de esta fábrica, porque entonces el acuñado es poco eficaz y no resulta entre los mampuestos inmediatos la trabazon necesaria. Por esta razon deberán preferirse los que presenten formas angulosas; y de emplear alguno que no llene esta condicion se partirá en dos, sentándole sobre las caras de rotura, á fin de que resulte en una posicion estable y se adhiera bien el mortero inferior.

127. **Advertencia.**—Las mamposterías, y más principalmente la ordinaria, se construyen algunas veces *en seco* ó *á hueso*, quedando entonces fiada en gran parte la solidez de la construccion al acuñado. Esta fábrica es de uso muy conveniente en ciertos casos de muros, y reune á la necesaria resistencia una gran economía.

No es fácil en la práctica señalar cuando una de las mamposterías explicadas pasa á la inmediata, y se ven muchas obras de alguna extension en las que se han empleado las tres en diversas porciones; pero un exámen atento basta para conocer en cada caso la naturaleza que en general tiene la fábrica de que están formadas (a).

En el caso de presentar mucho grueso la obra construida con mampostería, deberá esta ejecutarse en el interior lo mismo que en el exterior, á cuyo objeto se levanta cada hilada empezando por los mampuestos de paramento, y se van en seguida colocando los del interior, haciendo que ajusten bien en los huecos que han de ocupar, segun se ha dicho más arriba, y eligiendo los que tengan próximamente la misma altura que los del paramento.

(a) No creemos recomendable, ni es práctica seguida en nuesrro país, la construccion de la mampostería por tongadas (par relevés) de que hacen mérito los autores franceses y belgas, razon por la que no hemos entrado en su descripcion.

Debe proscribirse de una manera absoluta la práctica establecida en algunos puntos, que consiste en construir el interior de cada hilada con ripios y pequeñas piedras embebidas en mortero, porque de esta suerte se ocasionará en el interior un asiento mucho más considerable que en los paramentos, cuyo efecto inmediato será separar y romper la ligazon que entre estas diversas partes debe siempre existir.

Por el contrario, convendrá aumentar siempre que se pueda esta ligazon, estableciendo á 1^m próximamente de distancia, y en tresbolillo, grandes tizones que si el espesor de la obra no es considerable pueden formar llaves. En algunos casos se han establecido con el mismo objeto grandes grapas que ligan dos á dos varias piedras de los paramentos opuestos; pero esta disposicion revela una falta de resistencia en la fábrica que no debe admitirse cuando las dimensiones y ejecucion de la obra son las convenientes.

En el sillarejo y las mampostería, se verifica el rejuntado del mismo modo que se dijo en la sillería; pero en las últimas y cuando no deban estar recubiertas con un revoque como se dirá más adelante (168 y siguientes), hay que hacer esta operacion con gran cuidado, á causa del número, magnitud, é irregularidad de las juntas. En este último caso se pueden introducir pequeños ripios, durante el rejuntado, en los puntos en que la separacion de los mampuestos lo consienta; pero cuidando siempre de colocarlos de modo que sus caras mayores sean normales al paramento é introduciéndolos entre el mortero á golpe de martillo hasta que no formen saliente alguna.

ARTÍCULO III.

Ladrillo.

128. **Naturaleza de esta fábrica.**—La resistencia del buen ladrillo, su perfecta adherencia á los morteros y su forma completamente regular, le hacen muy á propósito para las construcciones en general, obteniéndose con él fábricas sólidas é impermeables á la accion de las aguas. Cuando en una localidad sea costosa la piedra, se puede reemplazar con ventaja por el ladrillo, siempre que sea duro, bien cocido y moldeado y poco

absorbente. La fábrica que con este material se construye ocasiona asientos iguales en toda su extension á causa de la continuidad é igual espesor de sus hiladas, y permite, á igualdad de resistencia con la mampostería, reducir sensiblemente el grueso de la obra.

129. **Aparejos.**—Las dimensiones ordinarias del ladrillo comun en nuestro país son 0,^{m}28 de largo por 0,^{m}136 y 0,^{m}04 de ancho y grueso (a) y su disposicion en la fábrica depende en gran parte del espesor que ésta presente. Si los ladrillos se han de colocar en su posicion más estable y suponemos que el macizo que han de formar sea un muro, el menor grueso que éste podrá presentar será el ancho del ladrillo, formando lo que se llama *citara de soga* ó de *media asta*: en tal caso los ladrillos están todos á soga con las juntas interrumpidas, y situadas en el punto medio ó tercio central del ladrillo inferior, como se ve en la fig. 153.

Si el grueso del macizo es igual al largo del ladrillo, ó forma una *citara de asta*, entonces puede ya combinarse de muy diversas maneras, estando representadas las de más frecuente empleo en las figs. 154 á 157. La primera representa la disposicion llamada belga, en la cual las hiladas se encuentran aparejadas una á tizon y la siguiente á soga, correspondiéndose verticalmente las juntas en todas las hiladas á tizon; pero no sucede lo mismo con las de soga, en las que solo se corresponde una sí y otra no, ó sea alternativamente. En la fig. 155 se representa el aparejo llamado flamenco, en el que cada hilada se encuentra formada por sogas y tizones, situando los últimos encima de las sogas de la hilada inferior y vice-versa. Las figs. 156 y 157 dan respectivamente á conocer el antiguo y moderno aparejo ingles, constituido el primero por hiladas dispuestas como en el belga, pero correspondiéndose verticalmente todas las juntas en las sogas lo mismo que en los tizones, y formado el segundo por dos hiladas sucesivas á soga y una á tizon, sin que las juntas se correspondan, y repetidas en el mismo órden en el resto de la obra.

Examinemos las condiciones de resistencia de estos diversos

(a) El ladrillo francés suele tener respectivamente 0,^{m}22 $\times$ 0,^{m}107 $\times$ 0,^{m}05 y el inglés 0,^{m}23 $\times$ 0,^{m}11 $\times$ 0,^{m}065.

aparejos, para lo cual supondremos que en el cimiento tiene lugar un descenso ó depresion parcial. En tal caso la fábrica tenderia á romperse verticalmente en la prolongacion de las juntas próximas al descenso, y por consecuencia resistirá tanto más cuanto mayor sea la separacion que haya entre las juntas en sentido vertical. En este supuesto si la rotura tendiera á verificarse en el aparejo belga, segun la seccion *ab* habria entre cada dos juntas tres espesores de ladrillo que resistirian á esta accion; pero á la distancia de $^1/_4$ de ladrillo habria otra seccion paralela *a'b'*, en la cual solo hay un ladrillo que resista entre cada dos juntas y por ella tendria lugar la rotura con preferencia á la *ab*. En los aparejos de las figs. 155 y 156 la resistencia es la misma y está medida por un ladrillo entre cada dos juntas; pero en el de la 157 hay en cualquiera seccion que se considere dos ladrillos que resisten.

Vemos, pues, que en este concepto el aparejo moderno inglés es el preferible, siguiendo despues el belga y los dos restantes.

Cuando el espesor del macizo es mayor que la longitud del ladrillo, se puede variar extraordinariamente la disposicion del material; pero la más usada consiste en formar cada hilada de modo que los ladrillos del paramento resulten segun alguno de los aparejos que hemos descrito, y colocar los del interior á soga ó tizon de manera que se ajusten bien entre sí y con los primeros. En los macizos de mucho grueso ó destinados á obras hidráulicas se toma además la precaucion de establecer entre cada cinco ó seis hiladas una ó dos en cuyo interior se ponen los ladrillos en direccion diagonal y cruzándose las juntas, como se representa en proyeccion horizontal en la fig. 158.

Otros aparejos se adoptan cuando el grueso de la obra es menor que el ancho del ladrillo y en la terminacion de ciertas construcciones; pero de esto nos ocuparemos al tratar de los muros y bóvedas.

130. **Ejecucion de la fábrica.**—Antes de proceder á la construccion de una hilada es preciso enrasar la inferior, comprobándola por medio de reglones y niveles, como en la sillería, y comprimiendo los ladrillos que sobresalgan de la superficie que debe resultar. En este estado, y despues de humedecida, se vierte una capa de mortero fino llamada *tendel*, de 1 á 2

centímetros de espesor, cuidando de que no llegue hasta el paramento, á fin de que al colocar encima y comprimir el ladrillo no se vierta aquel, ó recogiendo en todo caso con la paleta el que pueda caer. Sobre el mortero se coloca á mano el ladrillo humedecido préviamente y se le comprime, dándole un movimiento lateral para que ajuste con el paramento ó con el contiguo de la misma hilada, si ya se hubiera colocado otro. Este movimiento lateral hace refluir el mortero á los costados y llena la junta que separa á dos ladrillos inmediatos. Aunque se tolera que al fijar la posicion de los ladrillos de paramento se los golpee un poco con la paleta, no debe abusarse de esta facultad, y ménos aún en los interiores, que conviene comprimirlos solo á mano, porque se ha observado que de esta manera se adhieren mejor al mortero.

Como los operarios tienen por regla general tendencia á economizar el trabajo, ponen á veces el ladrillo en obra sin mojarle préviamente en el cubo que tienen al lado, lo que perjudica en extremo las cualidades de la fábrica, atendida la propiedad más ó ménos absorbente que siempre tiene este material. En tal caso es preferible mojarle antes de ponerlo al alcance del que construye la fábrica, destinándose á este objeto obreros especiales. De todos modos deberá cuidarse de que al sentar los ladrillos no estén tan mojados que puedan diluir el mortero.

El espesor á que suelen reducirse los tendeles por la compresion del ladrillo varía entre 5 y 8 milímetros, y el grueso de la junta debe ser tal que, sumado con el doble del ancho de un ladrillo, resulte su longitud. De esta manera, y ya se pongan los ladrillos á tizon ó á soga, se puede conseguir fácilmente que las juntas se correspondan en sentido vertical en toda la altura de la obra.

131. **Observacion.**—Siendo iguales por regla general la forma y dimensiones de los ladrillos que se emplean en una obra, se verificará en varios de los aparejos descritos (figuras 154 á 157) que algunas juntas del interior se continuarán en toda la altura de la obra, siquiera sea pequeña la extension horizontal que abracen, lo cual no tiene lugar en la sillería ni sillarejo, en razon á poderse cambiar algo el ancho y largo de las piedras que entran en su formacion. Esto, sin embargo, no perjudica á la solidez de la obra, pues, como acabamos de decir,

es siempre pequeña la extension horizontal de estas juntas, encontrándose el material bien enlazado y dispuesto para que no haya la menor tendencia á la separacion entre las diversas partes de la fábrica.

Una variante de la fábrica de ladrillo que la aproxima mucho á la sillería es la que se realiza con la terra-cotta, ó sean ladrillos que tienen grandes dimensiones, fabricados con tierras especiales, los que á veces se ven con molduras y otros adornos en sus caras de paramento. Este material, que por su color y resistencia. obtenida al cocerle en virtud de un principio de vitrificacion en sus caras, tiene gran semejanza con la sillería, siendo por otra parte mucho ménos pesado, se adapta perfectamente á la construccion de obras importantes, y constituye una fábrica que se ejecuta con todas las precauciones señaladas en la sillería, aunque de una manera mucho más rápida y sencilla. Un ejemplo notable del empleo de esta fábrica y del carácter monumental que reviste, son las nuevas construcciones llevadas á cabo en el palacio de South-Kensington, en Lóndres.

Otra variante de esta fábrica que la liga con el tapial, es la de *adobes*, cuya disposicion es la misma que la de los ladrillos, pero más toscamente ejecutada, empleando con frecuencia, en vez de mortero de cal, los formados con arcilla.

La fábrica de ladrillo que no se haya de recubrir despues con otro material, deberá rejuntarse con esmero, con arreglo á lo expuesto en la sillería. Esta operacion siempre se verifica en la terra-cotta, y se suprime por lo regular en los adobes.

ARTÍCULO IV.

Hormigon.

132. **Su naturaleza.**—Por el estudio del conocimiento de los materiales se sabe que el hormigon es un compuesto de piedra partida, fragmentos de ladrillo ú otras sustancias diversas, reducidas á un pequeño volúmen, y de mortero más ó ménos hidráulico, en cantidad suficiente para llenar todos los huecos que quedan entre los trozos del primer material, y no permitir que dos de éstos estén en contacto directo. Este compuesto debe estar perfectamente mezclado, de modo que cada trozo se en-

cuentre recubierto en toda su superficie por una capa de mortero más ó ménos gruesa.

La composicion de este material y el estado semipastoso en que resulta, da desde luego á conocer que para obtener con él una fábrica de forma definida será preció contenerle en moldes ó aparatos, cuyas caras interiores formen despues las exteriores del trozo de fábrica que se considera, los cuales se pueden quitar luego que haya fraguado el hormigon que los llena, quedando construido un trozo de hilada de la obra. Tambien se emplea este material en la construccion, formando préviamente con él sillares artificiales; pero entonces se ejecuta la fábrica del mismo modo que la sillería. Por último, hay ocasiones en que los moldes antedichos se hacen de alguna de las fábricas examinadas en los artículos anteriores, y una vez llenos aquellos y fraguado el hormigon, quedan subsistentes en la obra, formando un solo todo con éste, y constituyendo una fábrica mista, como veremos más adelante.

133. **Sistema de ejecucion.**—El procedimiento que con mejores resultados de solidez y economía se emplea en las construcciones de este género, es el inventado por Mr. Tall, que consiste en establecer, con tableros puestos de canto y revestidos de zinc, un encajonado cuyas proyecciones aparecen en las figuras 159 á 162, lámina 8. Los tableros *aa*, *a'* ligados entre sí como ahora veremos, constituyen un verdadero encajonado, en cuyo intervalo se vierte el hormigon que ha de formar el macizo ó muro que se considera. Estos tableros se unen por medio de dos filas de pernos que los atraviesan, así como á unos tacos de madera de forma cónica *dd*, sirviendo estos conos para dar á la obra el grueso conveniente, que se puede alterar variando su longitud, y para sostener los tableros, á cuyo fin se apoyan los de la fila inferior sobre la parte de fábrica ya construida más abajo. Apretando los pernos, se tienen los tableros con la separacion debida y ajustados á la fábrica inferior, comprobando su posicion por medio de plomadas y niveles.

Colocados los tableros, se procede á verter el hormigon con rastras, palas ó cubos, cuidando de que caiga desde una altura de 1,5 á 2 metros, con objeto de que se comprima al llegar al fondo, y extendiéndole en capas horizontales de 20 centímetros de espesor próximamente, á fin de que resulte el macizo con la

mayor homogeneidad posible. A veces se apisonan estas capas, á medida que se extienden, con pisones de hierro fundido ó de madera, con objeto de llenar los huecos que hayan podido quedar y repartir con igualdad el mortero; pero en tal caso, debe tenerse mucho cuidado de no producir choques fuertes, que harian refluir el mortero á la superficie, y perjudicarian á la homogeneidad del hormigon.

De esta manera se forma por capas sucesivas una *tongada*, que suele variar de 50 á 80 centímetros de altura. Colocando al lado de los tableros antedichos otros, sostenidos y ajustados de la misma manera, se prosigue la construccion de la tongada, siguiendo la marcha descrita; y cuando haya fraguado el hormigon contenido en los primeros tableros, pueden quitarse, colocándolos á continuacion de los otros. La altura de cada tongada debe llegar á cubrir como la mitad de los tacos cónicos de la fila superior, á fin de que dejen en la fábrica su impresion y puedan ajustarse con más facilidad los tableros cuando se construya la tongada siguiente.

Para quitar los tableros se empieza por desatornillar y sacar los pernos, separando aquellos despues y extrayendo, por último, de la fábrica los conos de madera. Todos estos conos son de iguales dimensiones; y para cuando se haya de aumentar el espesor de la fábrica, hay otros de la longitud necesaria.

134. **Modificaciones.**—No siempre se ejecuta esta fábrica con la sencillez que hemos indicado respecto á la fijacion de los tableros, pues en algunos casos no solo se comprueba su posicion, como se ha dicho, sino que además se establecen paralelamente á los paramentos piezas de madera fijas al suelo, con las que deberán estar en contacto los tableros. Sin embargo, no hay necesidad en la generalidad de los casos de apelar á este medio para que resulte el paramento que se desea, y basta, de ordinario, comprobar con la plomada y reglones la posicion de cada tablero respecto al inmediato y á la fábrica inferior, ajustando perfectamente las tuercas de los pasadores. Mientras se verifica el relleno de un encajonado, convendrá comprobarle varias veces, por si ha experimentado alguna deformacion durante los trabajos; y de ser así, se le restablece en la posicion que debe presentar antes de que fragüe el hormigon.

Cuando los extremos de las tongadas hayan de acabar ver-

ticalmente, ó cuando tiene lugar el concurso de dos muros formando una esquina, se puede contener la fábrica empleando un tercer tablero, que se coloca á escuadra con los otros dos, y sujeto á sus extremos por medio de pasadores. En otros casos se construye simultáneamente la fábrica á uno y otro lado de la esquina, para lo cual se corren hácia ésta los tableros exteriores, de modo que se correspondan ciertos taladros que no son los que ordinariamente atraviesa un mismo pasador (fig. 160).

Las partes salientes que haya de presentar esta fábrica se obtienen con facilidad separando los tableros lo que fuere necesario, y del mismo modo y con igual sencillez se ejecutan adornos y molduras cuando en la cara interior del tablero se practica la impresion del adorno. La fig. 163 hace ver de qué manera tan sencilla se puede construir la cornisa de un muro, por abundante y delicada que sea su ornamentacion.

135. **Advertencia.**—Cuando haya necesidad de suspender la ejecucion de esta fábrica, se termina la tongada en construccion segun un plano inclinado comprendido entre dos tableros; y con objeto de que se una bien á la parte ya fraguada la que se ejecute despues, ya sea al dia siguiente ó en un plazo más largo, se empieza por limpiar con esmero y humedecer la cara endurecida; despues se la recubre con una capa de mortero hidráulico hecho con cuidado, y por último, se va vertiendo encima el nuevo hormigon. De la misma manera se une la tongada que se construye con la inferior ya fraguada.

En todos estos trabajos es de absoluta necesidad que los operarios no pisen el hormigon antes de fraguar por completo, y á este fin se colocan encima de los tableros piezas de madera y tablones, sobre los que marchan los trabajadores. Con el mismo objeto hay además lateralmente otros tablones *tt* (fig. 161) que forman parte de los andamios, y de cuya descripcion nos ocuparemos en el lugar correspondiente.

Al ir corriendo ó elevando los tableros, quedan en la fábrica las aberturas ocasionadas por los conos de madera; pero despues de hecha la construccion se van tapando con buen mortero hidráulico, reemplazando aquí esta operacion á la del rejuntado, que ahora no tiene lugar en virtud de la completa homogeneidad y perfecto enlace de todas las partes que componen esta fábrica. El rápido fraguado de los morteros y la faci-

lidad en la construccion, hacen que las obras levantadas con este material se puedan considerar como de una sola pieza ó monolitas, y presenten á igualdad de resistencia una gran economía de tiempo y dinero respecto á las demás fábricas.

ARTÍCULO V.

Tapial.

136. **Su naturaleza.**—La tierra franca con alguna arena, la vegetal y en general toda tierra más ó ménos arcillosa que despues de humedecida se la oprime en la mano y conserva la forma así adquirida, es á propósito para formar tapiales. La tierra empleada en esta fábrica se la prepara limpiándola de los cantos que pueda contener, mayores que una nuez, y pisándola fuertemente hasta que forme pasta de alguna consistencia, para lo cual, si fuera necesario, se la humedece algo. A fin de evitar los agrietamientos que al secarse pudieran aparecer, se mezcla á la pasta, durante el amasado, paja ó heno cortado distribuido por igual en toda la masa.

Preparada de este modo la pasta y establecido un encajonado, análogamente á como se ha dicho en el hormigon, se van formando las diversas tongadas que constituyen esta fábrica, la cual, aunque ménos resistente que otras, se distingue por su carácter de economía. En los países cálidos y secos como el nuestro es de muy útil empleo y sirve para levantar construcciones que llegan á durar largos años.

137. **Sistema de ejecucion.**—Para fabricar el tapial se empieza por formar sobre la parte ya construida el encajonado á que hemos hecho referencia, el cual está compuesto de dos tableros *ab* (fig. 164) de 3 metros de longitud y de 1 de altura próximamente. Estos tableros se apoyan en cuatro *traveseros, d*, de 1,^{m}10 de largo y 0,^{m}08 $\times$ 0,^{m}10 de escuadría y se sostienen lateralmente por doble número de postes ó *costales* del mismo grueso que los traveseros y de 1,^{m}40 á 1,^{m}50 de longitud. Los traveseros tienen hácia sus extremos dos cajas ó taladros rectangulares, en las que entran las espigas de los costales, y éstos pueden aproximarse lo necesario apretando más ó ménos las cuñas *c*. Por la parte superior se pueden ligar cada dos costales

correspondientes por una disposicion igual á la inferior, segun aparece en la figura, ó bien, y es lo más frecuente, se los une con una cuerda sin fin retorcida, y en su parte central un palo, el cual se fija en otro apoyado inferiormente en los costales, siendo la longitud de éste igual al grueso del macizo ó muro que se quiere construir. Esta última disposicion recibe el nombre de *garrote*.

Montados los tableros, se procede á extender capas de la tierra preparada que tengan unos 10 centímetros de espesor, las cuales se comprimen por medio de pisones de madera ó de hierro de formas variables (fig. 165) hasta que se reduzcan como á la mitad de grueso. La longitud de estas capas se va reduciendo á medida que están más altas, de modo que resulte la tongada en los extremos del encajonado con una inclinacion de 60° próximamente.

Construida una parte de la tongada se desmontan los bastidores y se corren lateralmente los tableros de modo que cubran el extremo inclinado de la parte construida, continuándose despues la construccion como se acaba de explicar, pero cuidando de que se una bien la parte nueva con la antigua adyacente é inferior, para lo cual se humedecen las superficies que han de estar en contacto. Si la extremidad de la tongada ha de terminar verticalmente, se coloca en el borde extremo de los tableros otro, que se fija á ellos de una manera segura, construyendo como siempre la parte de la tongada que ocupa el espacio que comprenden.

Terminada de este modo la construccion de una tongada, se prosigue levantando la superior de la misma manera; solo deberá cuidarse de que resulten las caras inclinadas de junta en el centro de cada trozo inferior y de darlas una inclinacion en sentido contrario de una á otra tongada.

138. **Observacion.**—Teniendo en cuenta la naturaleza de esta fábrica y la accion destructora que sobre ella ejerce la humedad, se la deberá construir sobre un basamento ó zócalo de piedra ó de ladrillo, que tenga al ménos $0,^{m}30$ de altura sobre la superficie del suelo. Así es que en la práctica el tapial aparece siempre formando una fábrica mista con otra más resistente.

Así como se dijo en el hormigon, se rellenan las aberturas

que resultan en el macizo con tierra bien preparada y comprimida, para que se adhiera á la parte ya hecha.

Si en lugar de mojar con agua las tierras de que se compone el tapial se hiciera con una lechada de cal, se dotaria á esta fábrica de un gran aumento de resistencia, y un resultado parecido se obtendria si en vez de la lechada se extiende cal apagada en polvo sobre las diversas capas. Esta cal en presencia del agua que humedece las tierras fragua al cabo de cierto tiempo y proporciona una dureza notable al tapial, que en estos casos se llama *calicastrado* ó *real.* Prescindiendo de esta circunstancia, se preserva ordinariamente esta fábrica de la accion de los agentes exteriores recubriendo el paramento con una capa más resistente, de que trataremos en otro lugar, la cual llena el mismo objeto para el total de la obra que el rejuntado para las hiladas y juntas.

ARTÍCULO VI.

Fábricas mistas.

139. **Generalidades.**—Siempre que en una fábrica aparecen unas partes construidas con materiales de dimensiones ó calidad diferentes á las del resto de la obra, se dice que aquella es *mista*. Estas diferencias en la fábrica están fundadas en la distinta intensidad con que pueden actuar las causas de destruccion en las diversas partes de una obra.

Por regla general, los paramentos necesitan presentar más resistencia que el interior, porque sobre ellos actuan directamente las acciones destructivas exteriores, como las influencias atmosféricas, las corrientes de las aguas, el choque y rozamientos de los cuerpos, etc., etc. Pero aun en el mismo paramento puede haber partes que se encuentren expuestas más directamente á estas acciones ó que se vean más sobrecargadas por los pesos ó esfuerzos que sobre ellas actúen, y en tal caso es indispensable, para la solidez de la obra, que la fábrica en estos puntos sea más resistente que en los demás.

140. **Disposiciones mas usadas.**—Aun empleando el mismo material, como sucede, por ejemplo, en la fábrica de ladrillo, se eligen para formar el paramento los que aparecen mejor

moldeados y cocidos, los cuales se colocan en obra con más cuidado que los de relleno; ésto, unido al rejuntado posterior, hace que la fábrica sea realmente mista del paramento al interior.

Pero el caso más frecuente es cuando la naturaleza de la fábrica cambia por completo desde el interior al paramento, ó de un punto á otro de éste. Sin embargo, este cambio no es arbitrario; así es que dada una fábrica para construír el interior de una obra, se deberá emplear en el paramento la que inmediatamente presenta más resistencia, y el mismo órden creciente se observaría con la del paramento en general y sus refuerzos. En este supuesto se admite que la preferencia con que en la practica se adoptan las fábricas estudiadas, siempre que sea el mismo el mortero empleado, tiene el órden siguiente: sillería, sillarejo, ladrillo, hormigon, mampostería y tapial.

Esto no obstante, en algunos casos puede y debe invertirse este órden entre el ladrillo y el hormigon, pues si bien con el primero se construyen de ordinario las partes más principales de una obra que despues se rellenan fácilmente con el segundo, éste, en cambio, presenta despues de fraguado más resistencia que el ladrillo y aun que las demás fábricas.

En todos los casos de fábricas mistas conviene disponerlas de manera que la trabazon entre unas y otras sea lo más perfecta posible, y que la diferencia de asiento en todas ellas sea lo menor, á fin de que no se ocasionen agrietamientos y separaciones que serian extraordinariamente perjudiciales á la resistencia de la construccion.

La fig. 166 representa una construccion en la que el interior es de mampostería, el paramento de sillarejo y en el que se refuerzan ciertas zonas verticales *cc*, que reciben el nombre de *cadenas*, formadas de sillería. En la 167, que hace ver una obra de mampostería con cadenas de sillarejo, se regulariza el asiento de la primera, estableciendo á ciertas alturas una hilada *bb* del mismo sillarejo, llamada *faja* ó *banda*, la cual impide que una pequeña irregularidad en el asiento de la mampostería inferior se trasmita y pueda aumentar en la parte construida encima de la faja. Para que ésta llene por completo su objeto, debe coger todo el grueso de la obra; pero en la generalidad de los casos basta que abrace tan solo una parte, á contar

del paramento, si bien conviene que esta sea bastante grande para impedir que los asientos interiores se trasmitan en toda la altura de la obra. Por último, en la fig. 168 aparece una disposicion análoga en una obra de mampostería ó tapial con cadenas de ladrillo y fajas del mismo material, que en este caso reciben el nombre de *verdugadas*.

Hay otras fábricas mistas en cuya composicion entran piezas de madera ó de hierro, rellenándose los intervalos que dejan con ladrillo, hormigon ú otra fábrica ménos resistente, y de cuya descripcion nos ocuparemos al tratar de los suelos y entramados.

141. **Ejecucion de estas fábricas.**—Como en esta clase de construcciones entran unos materiales que tienen más volúmen ó formas más regulares que otros, el asiento que en los primeros se produzca será menor que el que se ocasione en los sègundos, y es preciso evitar, por cuantos medios sea posible, las grietas y roturas que tal efecto habria de originar.

Esto se consigue empleando morteros que fragüen con rapidez, y en tal concepto el hormigon, unido á cualquiera de las otras fábricas, llena perfectamente el objeto; pero en muchos casos no es posible ó conveniente el empleo de los morteros hidráulicos, y entonces hay que tomar varias precauciones para atenúar en cuanto se pueda los inconvenientes indicados.

Tomemos como ejemplo un muro de mampostería con cadena de sillería (fig. 169) en la que aparecen los resaltos *aa*, *bb*, *cc*, y tratemos de que la trabazon entre ámbas fábricas sea lo más íntima posible. Se empezará, despues de construida la primera hilada, por extender en el sobrelecho *aa* de la sillería una capa de mortero de 3 á 4 centímetros de espesor, fabricado de manera que fragüe un poco despues que el usado en la mampostería; luego se colocan sobre esta capa los mampuestos de modo que enrasen justamente con el sobrelecho *bb* en toda la extension que ha de ocupar la hilada superior de sillería. Construida ésta se ejecuta la mampostería contigua de modo que el mampuesto contiguo á *bc* sobresalga de esta altura lo necesario para extender sobre *cc* una capa de mortero igual á la *aa*. Este mismo mortero se emplea en toda la superficie de contacto *aa bb cc* de ambas fábricas.

Si en esta obra hay un asiento mayor en la mampostería

que en la cadena, se comprimirá el mortero en *aa cc*, por no haber aun fraguado, lo que permitirá cierto movimiento á la mampostería, sin ocasionarse grietas ni roturas. A consecuencia de esta compresion se ensancharán las hiladas *bb*, que se rellenan despues con buen mortero, como en *ab*, cuando se rejunten los paramentos. Si se usara el yeso, se tomarán análogas precauciones, pero en sentido contrario, á causa del aumento de volúmen que adquiere con el fraguado y con el tiempo: el mortero hidráulico posee las ventajas de la rapidez en el fraguado y la invariabilidad posterior de su volúmen.

Con frecuencia se forman las cadenas y en general los refuerzos con materiales de menores dimensiones que los del resto de la construccion, como sucede al ladrillo respecto á la mampostería (fig. 168). Entonces se forman los resaltos del refuerzo poniendo cuatro, seis ú ocho hiladas cortas y otras tantas largas, para que entrando los mampuestos en los rebajos que así resultan traben mejor ambas fábricas.

142. **Advertencias acerca de las fábricas.**—En las construcciones de alguna extension, las fábricas mistas son por punto general las mas frecuentes y racionales, á causa de las diferentes condiciones de resistencia que deben presentar las diversas partes de que se componen, ó de la mayor ó menor importancia y riqueza que han de revelar. Pero debiendo aparecer en una obra cierta armonía en las distintas partes que la forman, se adoptan siempre fábricas cuya resistencia no difiera mucho entre sí.

Generalmente se acusan los refuerzos en los paramentos de una obra, no solo por la naturaleza de la fábrica, sino por un resalto que suele variar de 3 á 8 centímetros, lo que dota á la construccion de un gran carácter de solidez que se puede acentuar más por medio del almohadillado.

En nuestro clima conviene suspender la ejecucion de las fábricas desde principios de Noviembre hasta primeros de Marzo, á fin de evitar la accion destructora que las heladas ejercen sobre los morteros frescos. Debe cuidarse, al paralizar los trabajos, de abrigar la parte superior de la construccion con esteras ó paja, y al comenzarlos de nuevo se la limpia con esmero, quitando las partes de mortero que se hayan deteriorado, y mojando, por último, con agua ó lechada de cal la superficie sobre que se va

á continuar la fábrica. Otro tanto conviene hacer cuando se continúan los trabajos despues de algunos dias de interrupcion.

Para que una fábrica resulte bien construida se la deberá tener constantemente limpia, y con este objeto se obliga á los operarios que tengan necesidad de andar sobre ella, y á fin de que no pisen los morteros frescos, á marchar sobre tablones colocados encima de la obra recien hecha. Si por cualquier circunstancia se ensuciara la parte que se está construyendo, se la deberá lavar con agua ó lechada de cal antes de proseguir los trabajos.

Las construcciones deberán levantarse por hiladas horizontales en toda la extension que estas abracen en la obra, á fin de que las presiones que experimenten los cimientos y demás partes inferiores se encuentren distribuidas de un modo próximamente uniforme.

Estas prescripciones, y las dadas anteriormente acerca de la ejecucion de cada fábrica, deben observarse con cuidado en las construcciones algo importantes, pues que á igualdad en la naturaleza de las fábricas, la solidez y duracion de una obra depende en gran manera del esmero con que se haya ejecutado.

CAPÍTULO II.

Muros.

143. **Su importancia.**—En toda construccion, ya sea un edificio destinado al uso público ó particular, ya sea una obra que llene ciertas necesidades generales, como los muros de sostenimiento y contencion en las vías públicas, los puentes, viaductos, etc.; la parte fundamental son los muros y las bóvedas. No depende tan solo su importancia de la frecuencia con que se emplean en toda clase de construcciones, sino del objeto que en ellas llenan; pues todas las demás partes, aun poseyendo cierto carácter de generalidad é independencia, como sucede con los suelos, cubiertas y escaleras, están siempre sostenidas por muros ó bóvedas. Por lo tanto, la solidez y duracion de las primeras depende directamente de la buena ejecucion y resistencia de las últimas.

Entre éstas las que tienen un empleo más general y nece-

sario son los muros, que por su diversidad de formas y objeto puede decirse que es la parte esencial de toda obra de arte, y sirven de elemento y apoyo á todas las demás, ó constituyen por sí solos el conjunto de la construccion.

144. **Noticias históricas.**—Desde la más remota antigüedad han sido los muros el principal elemento de la construccion. Los egipcios construian sus muros con grandes sillares labrados y pulimentados al exterior despues de puestos en obra, dando al paramento interior la posicion vertical y al opuesto un cierto talud que proporcionaba al edificio la forma piramidal, característica de aquel pueblo. El aparejo más usual era el isodomon y el pseudisodomon.

Los muros de los asirios eran de excelentes ladrillos fabricados con una arcilla muy fina del país, que secaban al sol cuando se destinaban al interior, ó los cocian si habian de formar los paramentos. Se colocaban en obra alternándolos con capas de caña y un fuerte y compacto cemento, compuesto de asfalto y yeso.

Los más antiguos muros entre los griegos son los llamados *ciclopeos*, levantados en gran parte por los pelasgos, pueblos indígenas de aquel país, y construidos con trozos ó bloques de piedra de dimensiones considerables y forma irregular, sin interposicion de materia alguna que los uniera y tapando los intersticios que dejaban con piedras pequeñas. Posteriormente se les dió la forma regular de los sillares, sujetándolos por medio de grapas de hierro empotradas con plomo, sin emplear mortero alguno; y 450 años antes de nuestra Era existian ya grandes muros dobles, separados entre sí unos 5 metros y ligados por otros trasversales, obteniéndose economía en el material y resistencia en el conjunto.

Los romanos, así como los demás pueblos que les sucedieron, adoptaron en la construccion de los muros las formas y aparejos usados por los griegos, que alguna vez modificaron en los detalles, y emplearon como materiales principales la sillería y el ladrillo, haciendo uso para ligarlos de morteros de buena calidad.

Por último, en la Edad Media se adoptaron los contrafuertes y botareles como refuerzos en los muros cuando se acumulaban las fuerzas en ciertos puntos, y esto ha sido despues un

carácter distintivo de las notables construcciones de aquella época, contribuyendo á su estabilidad y ornamentacion (a).

ARTÍCULO I.

Muros en general.

145. **Su objeto y clasificacion.**—Reciben el nombre de muros las construcciones destinadas á cerrar un espacio ó á resistir ciertos esfuerzos, como suelos, cubiertas, bóvedas, empujes de tierras ó agua, etc. Generalmente afectan la forma de un prisma, cuya *base* ó cara inferior que se asienta sobre el suelo, es un cuadrilátero rectilíneo ó mistilíneo, en la cual vienen á terminar las caras laterales, llamadas *paramentos*, que aparecen unas veces verticales, otras inclinadas y otras formando escalones. Los paramentos se limitan superiormente por una superficie, que por lo regular es horizontal, y recibe el nombre de *coronamiento* ó *coronacion*.

Aunque pudieran clasificarse los muros con arreglo á los materiales de que están formados, no suele hacerse así, sino teniendo en cuenta el objeto á que se destinan, y en éste concepto se los denomina *muros de edificacion* cuando entran á formar parte de un edificio, y de *sostenimiento, contencion* y *revestimiento* cuando sirven para contrarestar el empuje lateral de las tierras, para resistir la presion del agua y para preservar ó revestir el talud de un desmonte cualquiera.

146. **Muros de edificacion.**—La gran variedad de muros que entran á componer los edificios reciben en general el nombre de *paredes*, las cuales se clasifican con arreglo á la posicion respectiva que ocupan y al objeto que desempeñan. Se llaman *paredes de fachada* las que forman el perímetro del edificio cuando está aislado, ó quedan visibles al exterior si hay otro contíguo: en el último caso son *medianeras* ó de *medianería* las paredes inmediatas de ambos edificios. Se llaman *maestras* las que forman las grandes divisiones interiores de esta clase de construcciones, y de *distribucion* ó *tabiques* las que

(a) En las notables murallas de Tarragona se ven la mayor parte de los sistemas de construccion de las diversas épocas, desde las cíclopeas, hasta las contemporáneas.

establecen las subdivisiones de ménos importancia. Por último, los muros que solo tienen por objeto cerrar un espacio, como pasa, por ejemplo, en los jardines, reciben el nombre de *paredes de cerca.*

Las paredes maestras, los tabiques y las cercas suelen presentar un grueso constante en toda la altura que comprenden; pero hay ocasiones en que se reduce el de las primeras á ciertas alturas, dotándolas así de una resistencia próximamente uniforme para contrarestar las cargas que experimentan, las cuales son de ordinario el peso de los suelos, cubiertas, etc. Las de fachada tienen rara vez completamente vertical su paramento exterior, dándosele por lo regular un ligero talud que varía entre 1 de base y 100 á 500 de altura, á fin de que posean mayor estabilidad; pero no sucede lo mismo con el paramento interior. Este aparece casi siempre formando escalones (fig. 170) que disminuyen el espesor del muro al llegar á cada suelo.

Muy pocas veces se hace contínuo el paramento de los muros de fachada, pues que entonces presentarian un aspecto monótono y no darian á conocer las zonas en que se ha debido reforzarlos para que su resistencia sea bastante uniforme. Con este objeto y prescindiendo de los resaltos que se establecen al rededor de las aberturas, se forman siempre á la altura de los suelos fajas para acusar un refuerzo en estos puntos, y otro tanto se hace en la parte inferior, en la altura que comprende el zócalo, y en la superior, en la zona que abraza el coronamiento, bien se encuentre aislado el muro, bien tenga que sostener la cubierta del edificio. Sin embargo, en las edificaciones de la Edad Media, no solo se adoptaron los anteriores refuerzos á ciertas y determinadas alturas, sino que se les dió una saliente mucho mayor respecto al paramento del muro, el que aparecia tambien en escalones, como hemos dicho respecto á la cara interior.

147. **Ejecucion de estos muros.**—Puede hacerse uso en la construccion de esta clase de obras de cualquiera de las fábricas estudiadas en el capítulo anterior, segun sea la resistencia é importancia de que se las quiera dotar; pero en todos los casos deberán tenerse en cuenta las circunstancias particulares de cada obra para que revele el muro, ya sea por la naturaleza de

su fábrica, ya por el número, dimensiones y colocacion de los refuerzos, las condiciones de solidez que debe poseer.

Por regla general, las paredes de fachada, medianerías y maestras se construyen de ladrillo, hormigon ó mampostería, reservando la sillería y el sillarejo para los refuerzos; pero sin embargo, en los edificios que deban presentar un carácter monumental se hace uso de las últimas fábricas, siquiera no tengan empleo más que en el paramento de las fachadas. En este caso deberá cuidarse de la buena trabazon de las diversas fábricas con arreglo á la expuesto anteriormente para estos casos.

Los tabiques son de construccion más sencilla y casi siempre uniforme en cada localidad, segun sean los materiales más á propósito de que se pueda disponer, empleándose preferentemente con este objeto el ladrillo, unas veces solo y otras combinado con diferentes fábricas ó piezas de madera, como veremos al tratar de los entramados verticales.

148. **Replanteo.**—La primera operacion que es necesario verificar para construir un muro, de cualquier clase que sea, es *replantearle*; es decir, señalar en el terreno el espacio que deba ocupar su base. Para esto se hace uso de los planos que se han debido formar de antemano, en los cuales se representan en una escala bastante grande las dimensiones generales de la obra y todos los detalles que se consideren necesarios.

Esta operacion se verifica con los instrumentos de topografía cuando la obra abraza gran extension; pero en los muros de un edificio solo se emplea de ordinario el nivel de aire, la escuadra, la cinta ó cadena metálicas y reglones de madera graduados. Conocida por los planos la forma y extension que han de ocupar los cimientos del muro, se procede á señalar su contorno en el terreno que ha de ocupar, midiendo *horizontalmente* las distancias de la planta, y señalando por medio de piquetes de hierro ó de madera los extremos de las rectas ó varios puntos de las curvas, si tal fuera la forma del cimiento. Reuniendo con cuerdas estos piquetes, ó señalando en el suelo la curva á que corresponden, segun los casos, se desmonta el terreno verticalmente en el contorno que resulta, hasta llegar al plano horizontal ó al fondo de los escalonados sobre que deba insistir el cimiento. Con el fin de fijar exactamente esta profundidad y cualesquiera otras alturas, se sitúan á cierta distancia

de la escavacion dos ó tres puntos fijos, á cuya altura se puedan siempre referir las demás, por medio de una sencilla nivelacion.

Cuando se haya de verificar el replanteo con gran exactitud, como sucede por ejemplo en los apoyos de un puente, se empieza por fijar la posicion de su eje longitudinal tendiendo á través del rio un alambre, tenso por medio de contrapesos, en el cual se señalan las distancias á que deban estar los ejes de los apoyos. Hecho esto, se sitúan á derecha é izquierda de cada señal dos puntos que determinan la posicion del eje del apoyo respectivo, que puede ser normal ó formar un ángulo dado con la direccion longitudinal del puente; y se hace que sea visible y permanente la posicion de estos puntos, hincando en cada uno de ellos tres pilotes bien encepados por su extremo superior, entre los cuales se sitúa en el punto exacto que corresponda una varilla de hierro vertical.

La operacion del replanteo, que en ciertas obras, como los túneles, exige sumo cuidado y esmero, solo debe confiarse en construcciones de alguna importancia á funcionarios inteligentes y escrupulosos, pues un error que en ella se cometa puede ocasionar perjuicios de suma trascendencia.

149. **Cimientos.**—Despues de verificada la escavacion de que hemos hablado, se procede á rellenarla con fábrica hasta llegar cerca de la superficie del suelo, que es lo que constituye el *cimiento*. Esta fábrica, sobre la que ha de insistir el resto de la obra, debe ejecutarse con esmero, y su naturaleza depende de la del resto del muro; así, cuando en el paramento de éste aparece la sillería ó el sillarejo, aquella convendrá ejecutarla de carretales; y si aquel fuera de mampostería, ladrillo ú hormigon, podrán emplearse para sus cimientos estas mismas fábricas.

Debiendo en todos los casos quedar los cimientos por bajo de la superficie del suelo, no es necesario que sus paramentos resulten con el esmero que en la parte visible de la construccion; pero en cambio la fábrica deberá ejecutarse con particular cuidado, á fin de que experimente el menor asiento posible. Si la localidad en que se levanta la obra contiene humedad ó está expuesta á inundaciones, será conveniente construir los cimientos con mortero hidráulico, á fin de que el agua no pueda ascender en virtud de la capilaridad al resto de la obra, lo que perjudicaria en extremo su resistencia.

Habiendo llegado con el cimiento á la altura correspondiente, se le enrasa antes de sentar el *zócalo* ó *basamento*. Los cimientos tienen siempre mayor grueso que el resto del muro, para darle más solidez, presentando una saliente en cada paramento que varía de 10 á 20 y más centímetros, y recibe el nombre de *zarpa*.

150. **Zócalo.**—Terminado el cimiento, se procede á replantear encima la hilada superior ó *zócalo*, fijando con la mayor exactitud posible su contorno. En general, la fábrica del zócalo es más resistente que la del cuerpo del muro, y en muchas ocasiones está constituido, no por una sola hilada, sino por dos ó más, que unas veces forman un paramento vertical, otras presentan molduras más ó ménos ricas y variadas, y otras, por fin, van retirándose respecto á la inferior, resultando escalones ó *retallos* de ancho variable. En este último caso conviene verificar el replanteo en cada uno de los retallos.

Si el grueso del muro no es muy considerable, la fábrica del zócalo es homogénea en toda su extension; pero en el caso contrario, y si aparece el paramento de sillería, solo se hace con esta fábrica un grueso de 40 á 50 centímetros, y el resto del espesor se ejecuta con mampostería más ó ménos esmerada. Cuando el zócalo solo presenta un retallo, suele tener de 8 á 10 centímetros de ancho, cuidando siempre de dar alguna inclinacion á su cara superior para que las aguas de lluvia no se detengan en él y se infiltren en la construccion, lo que la perjudicaria notablemente. En vez de esta cara plana é inclinada, se enlaza el retallo con el cuerpo del muro, formando molduras, segun se ve en las construcciones que revelan cierta riqueza, y aparece en la fig. 171, la cual representa el basamento del notable edificio que actualmente se levanta en Madrid para Biblioteca y Museos nacionales.

151. **Cuerpo del muro.**—Sobre el zócalo enrasado se replantea la base del resto del muro, cuidando de señalar en esta cara, lo mismo que se verificará en cualquiera otra en que comience una abertura, el contorno que ésta deba ocupar. Para fijar con la necesaria exactitud la posicion del muro, se empieza por establecer en cada paramento dos ó más reglones de madera ó *maestras*, colocados verticalmente ó con la inclinacion que corresponda al talud, y sujetos por su pié á la parte ya

construida, por medio de pelladas de yeso: el borde interior de las maestras debe coincidir con el paramento que se trata de obtener.

Con estas directrices se puede comenzar la fábrica del cuerpo del muro, comprobando la posicion de cada hilada con niveles y plomadas y guiándose durante su construccion, para que resulte en el paramento que la corresponda, por medio de cordeles tensos que se atan á las maestras y ocupan una posicion horizontal. Los cordeles se van subiendo cada vez que se construye una nueva hilada, y cuando éstas llegan al extremo de las maestras, se pueden elevar las últimas, fijándolas del mismo modo en el paramento ya ejecutado y con la inclinacion que en cada caso les corresponda.

En los ángulos salientes ó esquinas de los muros debe aparejarse la fábrica, ya sea de ladrillo ó sillería (figs. 172 y 173), de modo que un sillar ocupe la parte comun á los dos muros que forman la esquina y tenga una cierta longitud en uno de ellos, y el siguiente ocupe la misma parte y abrace alguna extension en el otro muro. Siendo la esquina de ladrillo, deberá éste colocarse de suerte que no aparezcan en el paramento fracciones de él menores que su ancho, pudiendo con este objeto variar algo el grueso de las juntas. Por regla general, la construccion de cada hilada se empieza colocando los sillares ó ladrillos de las esquinas, que se ajustan con la mayor exactitud y sirven despues de guía para situar los intermedios.

Nada tenemos que decir respecto á la manera de ejecutar las fábricas de que el muro se componga, sino recordar las prescripciones establecidas en el capítulo anterior.

152. **Muros huecos.**—Cuando se hace uso del ladrillo ordinario, es fácil construir muros huecos, que tienen sobre los llenos del mismo espesor las ventajas de proporcionar una notable economía de ladrillos y mortero y de evitar la humedad que atraviesa los muros llenos, afectando más ó ménos á las habitaciones interiores y atacando los enlucidos.

Las figs. 174 y 175 representan dos hiladas consecutivas de un muro hueco de doble asta, en que el grueso de la parte exterior es doble que el de la interior. Los ladrillos que sirven para ligar ambas partes forman tabiques trasversales con las juntas encontradas. Un muro de esta clase es suficiente en la genera-

lidad de los casos; pero si fuera necesario darle mayor espesor, se puede aumentar un ladrillo á la cara exterior, á la interior, ó á las dos. Cuando el muro sea de asta y media, se adopta la disposicion de la fig. 176, que es sencilla y de fácil ejecucion, y por último se puede obtener un muro hueco cuando su grueso sea la longitud del ladrillo, disponiéndole como aparece en la figura 177: los señalados por *aa* están á *panderete* ó de canto, dejando el hueco *b*, y sobre la hilada que forman se pone otra á tizon *c*, que liga á los primeros, y así alternativamente.

Pueden hacerse estos muros con la resistencia necesaria en cada caso de aplicacion; y como el aire comprendido en los huecos es peor conductor del calor que el ladrillo ó la piedra, resulta que los muros huecos hacen á las habitaciones interiores más templadas en el invierno y más frescas en el verano que los llenos del mismo grueso (a).

153. **Refuerzos.**—Las cadenas (140) se establecen por regla general en los ángulos salientes de los muros y en las partes más débiles ó recargadas. Arrancan del zócalo, siendo unas veces su paramento continuacion del de éste, y presentando otras una pequeña entrada; pero en uno y otro caso deben aparecer con un cierto resalto respecto al paramento general del cuerpo de la obra.

Cuando son de sillería se pueden aparejar de diversas maneras, segun se representan en las figs. 173 y 178 á 182, y á veces se las da un ancho constante en toda su altura, constituyendo una *pilastra* que suele adornarse superior é inferiormente con *capitel* y *basa* (fig. 182). De todos modos, y sea cualquiera la disposicion que se adopte, es conveniente que la cadena presente (adarajas) para la buena trabazon con las otras fábricas, y evitar agrietamientos, segun aparece en la fig. 181. Haciéndose con ladrillo, el refuerzo se puede obtener con la misma forma que si fuera de sillería.

A la altura de los suelos de los diversos pisos en que se di-

(a) Estos aparejos, muy usados en los Estados-Unidos, Inglaterra y Norte de Europa, pueden adoptarse con ventaja en nuestro país, si bien el último exije que los ladrillos tengan más grueso que los nuestros, para que los panderetes presenten bastante estabilidad. De todos modos es recomendable su empleo en las construcciones ordinarias de ladrillo.

viden los edificios, se establece en los muros de fachada *fajas* ó *bandas*, cuyo objeto é importancia hemos visto más atrás (132). Sin embargo, hay casos en que este refuerzo es únicamente decorativo, y entonces solo tiene el tizon necesario para que quede sujeto, con la necesaria solidez, por la fábrica que carga encima de él. La mayor parte de las veces presentan estas fajas sobre el paramento del muro cierto resalto que se une con el de las cadenas, y además se da alguna inclinacion á su cara superior para la fácil salida de las aguas pluviales. Por lo regular, la forma de su seccion trasversal es la que aparece en la fig. 183, practicando en su cara inferior, cuando tiene bastante saliente, una pequeña ranura ó canal de 1 á 2 centímetros de ancho por otro tanto de profundidad para el desprendimiento del agua. Otras veces, y especialmente en las construcciones góticas (figs. 184 y 185), se encuentran adornadas con varias molduras; y en ocasiones tenian tanto resalto, que era preciso sostenerlas provisionalmente con piezas de madera apoyadas en clavos introducidos en las juntas inferiores (fig. 183) hasta construir la fábrica superior que aseguraba su posicion.

Tambien se construyen las fajas con ladrillo, formando un resalto general ó escalonado, como se acaba de decir, y en el dia se emplea con el mismo objeto y de una manera ventajosa, bajo el punto de vista de la solidez y ornato, la terra-cotta y el hormigon.

154. **Aberturas.**—Los huecos que con frecuencia se dejan en los muros y reciben el nombre genérico de *vanos*, conviene reforzarlos en su contorno para que presenten la necesaria resistencia, y segun sea su objeto y disposicion se les da el nombre de puertas, ventanas, etc. En cuanto á su forma, se pueden dividir en tres clases, que son: primera, los vanos que presentan un perímetro limitado por líneas rectas solamente: segunda, los que por la parte superior terminan en una curva: y tercera, los que son curvos en todo su contorno.

Las partes que entran á componer una abertura de la primera clase, son una pieza horizontal *aa* (figs. 186 á 188) que recibe el nombre de *umbral* en las puertas y *antepecho* en las ventanas, formando en el primer caso una pequeña elevacion y siendo mucho mayor en el segundo, aunque con solo el grueso del telar; dos *jambas b* y *c*, y un *dintel dd*. En proyeccion hori-

zontal constan estas aberturas de dos planos perpendiculares al paramento, llamados *telares*; otros dos paralelos al mismo, que son los *alfeizares*, y otros dos más ó ménos oblícuos, que son los *derrames mn*. Como hemos dicho, debe presentar en el paramento cierto resalto el contorno de los vanos, lo cual se consigue de ordinario formándole con piezas de piedra colocadas horizontalmente en los umbrales y dinteles y verticalmente en las jambas, las cuales se adornan á veces con molduras más ó ménos ricas; sin embargo, se adopta con preferencia para el dintel el aparejo de piezas en forma de cuña, cómo se hace en las bóvedas. En otros casos se dota del referido resalto al rededor de la abertura á los mismos sillares del muro ó á los ladrillos, segun sea la fábrica de que se componga.

En los vanos terminados superiormente en curva, el resalto ó faja que la rodea recibe el nombre de *archivolta*, la cual se construye de varias piedras con la forma conveniente para constituir el arco. La union de la archivolta con las jambas puede hacerse directamente ó interponiendo una hilada de piedra que tenga cierta saliente en el vano y recibe el nombre de *imposta*, segun aparece de trazos en la fig. 189. Cuando la abertura es completamente curva, se la llama *ojo de buey*, y se construye como hemos dicho en la archivolta. En estos dos casos, y siempre que la abertura sea de dimensiones reducidas, se puede evitar el empleo de las piedras especiales que forman su contorno y dar el resalto á los sillares de que en muchos casos se compone el muro.

Si por razon de economía se suprimen los refuerzos de que acabamos de hablar, y la fábrica de la pared lo exige, se colocan dados de piedra (figs. 190 y 191) en los puntos en que se hayan de fijar las puertas y ventanas que cierren el vano. Muchas veces se hacen fingidos estos refuerzos cuando la pared es de ladrillo ó mampostería, y entonces se forma con la misma fábrica una saliente que se recubre con mortero ó yeso, como veremos más adelante (165). Otras, por el contrario, se aumenta su número y forma, constituyendo *cornisas* (fig. 192), *frontones* (fig. 193) y *ménsulas* (figs. 194 y 195), viéndose con frecuencia en los edificios de la Edad Media fajas que rodean el contorno superior de la abertura, las que se unen á otra horizontal *aa* (fig. 196) situada en el entrepaño de los vanos.

Respecto á la construccion de estas diversas partes, debemos observar que, teniendo en cuenta la naturaleza del material, los umbrales solo deben apoyarse en la fábrica inferior por los extremos en que vienen á insistir las jambas, pues de lo contrario seria fácil que se rompieran por su parte central si la obra experimentase un asiento algo mayor en las jambas que el medio; esto no obstante, y despues que se haya verificado el asiento general de la obra, se rellenará con fábrica el claro inferior. Las jambas se forman por lo regular de un solo trozo de piedra puesta á *contralecho*, lo que no presenta en este caso inconvenientes, en razon al pequeño peso que tienen que sostener; pero tambien se sitúan por hiladas á lecho, de la altura ordinaria, que se aparejan como las cadenas. Los dinteles deberán presentar el suficiente grueso si carga sobre ellos directamente la fábrica superior; pero de ordinario se los recubre con un *arco de descarga* (figs. 186 y 190) que refiere á los entrepaños los esfuerzos superiores, y una disposicion análoga, aunque invertida, se adopta tambien á veces por debajo de los umbrales. Generalmente se da á los arcos de descarga una flecha igual á $^1/_{10}$ de la luz y medio ó un ladrillo de espesor; pero haciéndolos más gruesos y con mayor curvatura, se pueden colgar de ellos, por medio de barras de hierro, los diversos trozos que forman los dinteles, si bien esta disposicion se adopta en el dia rara vez.

Los refuerzos de los vanos deben coger todo el grueso del muro, si no es muy grande; pero en caso de serlo, se hace que por el paramento de la fachada tengan algo más que el grueso del telar, y en el encuentro de los derrames con el paramento opuesto se forma una cadena y dintel ó arco que se enlaza por medio de fajas con el refuerzo de la fachada. Sin embargo, lo más frecuente en este caso, y despues de establecer el refuerzo de la fachada, es construir el interior de la abertura, como derrames y demás, con una fábrica de eleccion respecto á la de los entrepaños. Muchas veces se cubre la parte superior con dos ó tres piezas de madera, enrasando la última con el paramento interior, que se revisten inferiormente, segun veremos más adelante, y quedan recubiertas, así como el dintel, con el arco de descarga, segun se ve en las figs. 186 y 188; y otras, por último, se hace toda la abertura de ladrillo únicamente, siendo un

ejemplo de esta última clase de construcciones el capialzado que aparece en la fig. 187, lámina 9.

155. **Coronamientos.**—La parte superior de los muros de edificacion se termina con una hilada más saliente y alta que las fajas, la cual se encuentra generalmente más ó ménos adornada con molduras, preserva en parte de las lluvias al paramento, y recibe el nombre de *cornisa*. No existiendo fábrica encima de ella, como sucede en las fajas, es necesario que tenga suficiente cola para evitar toda tendencia á que gire hácia el exterior del edificio.

En las construcciones monumentales se establecen siempre las cornisas de sillería, dando á su cara superior alguna inclinacion para que corran las aguas de lluvia, cuando éstas son poco abundantes, por estar aislado el muro ó por otra causa cualquiera, y á fin de que no vayan lavando el paramento, se adopta un perfil en que haya una parte saliente con una canal análoga á la *a* de la fig. 183, para que se desprenda el agua verticalmente sin tocar al resto de la obra. Si el agua que pueda reunirse sobre la cornisa es abundante, como tiene lugar cuando viene á terminar en ella un tejado, se forma en su cara superior un rebajo ó *canalon a* (fig. 198) de las dimensiones necesarias. Este canalon no se coloca horizontalmente segun su longitud, sino que se le da una ligera inclinacion en uno y otro sentido, y en los puntos bajos que resultan se establece la salida del agua. Las salidas, cuya separacion no debe pasar de 10 ^{m}, están formadas unas veces con tubos de bajada, de hierro, zinc ú hoja de lata, que se empotran en la fábrica del paramento, ó solamente se adosan á él y se sostienen con clavos y abrazaderas que rodean en ciertos puntos al tubo, el cual llega hasta el suelo, y otras son pequeños tubos inclinados, del mismo metal ó de piedra, apareciendo los últimos con muy diversas formas, sobre todo en las edificaciones monumentales de la Edad Media, por las cuales vierte el agua á cierta distancia del muro.

Cuando la cornisa no haya de ser tan rica como en el caso anterior, se puede construir de sillarejos ó mampuestos toscamente labrados, que se colocan con las salientes necesarias, y para impedir que las piedras vuelquen al exterior y asegurar su posicion, se ponen de cuando en cuando barras de hierro

(fig. 199) abiertas por sus extremos en forma de cola de carpa. Entre la fábrica y el contorno definitivo de la cornisa queda un pequeño intervalo que se rellena despues con el revoque, como veremos más adelante.

Ordinariamente se construyen con madera las cornisas de la generalidad de los edificios, colocando cierto número de piezas *a,a* (fig. 200), que forman *modillones*, sobre las que se clavan tablones *b* para constituir el *alero*. En el extremo de éste se fija, por medio de cantoneras de hierro y tornillos cuyas cabezas no formen resaltos, otra pieza de madera *c* que presenta hácia el exterior el contorno de la cornisa. Esta pieza forma con la vertiente *ef* del tejado y los tablones del alero un canalon que se recubre con una chapa de plomo ó de zinc; y con objeto de asegurar el conjunto de esta construccion, que tiene tendencia á volcar al exterior, se la sujeta al muro por medio de flejes de hierro que se clavan á la cola de las piezas *aa* y á trozos de madera *g* empotrados en el paramento interior y á 60 ó 70 centímetros por bajo de la última hilada. Unas veces quedan visibles inferiormente las piezas *a* del alero; pero otras muchas se recubren apareciendo seguida la cornisa, como en el caso antes examinado.

Estando los muros aislados, ó siendo de cerca, su coronacion es muy sencilla, reduciéndose por punto general á una estrecha hilada que recibe el nombre de *loseta*, con la necesaria saliente, y teniendo en su cara inferior la canal para la fácil caida del agua, como se dijo al tratar de las fajas. La parte superior aparece con formas muy diversas de las que las figs. 201 á 204 (lám. 8) representan las más usuales.

Siendo los coronamientos la parte de los muros más directamente expuesta á la accion de las lluvias, es preciso ejecutar su fábrica con gran esmero para impedir que se filtren y desorganicen la parte inferior. Con este fin se hace que las juntas sean bastante estrechas, perfectamente guarnecidas de buen mortero y distantes unas de otras lo más que se pueda; sin embargo, será siempre preferible emplear en esta parte de los muros buenos morteros hidráulicos que, á causa de su inalterabilidad y rápido fraguado, llenan por completo el objeto que se desea.

156. **Contrafuertes y botareles.**—En ciertos puntos de los

edificios se acumulan á veces los esfuerzos ocasionados por los suelos, las cubiertas ó las bóvedas, y en los cuales es necesario fortificar los muros por medio de cadenas más anchas, y sobre todo más salientes que las ordinarias, las que reciben el nombre de *contrafuertes*. Pueden afectar formas muy diversas, de las que las figs. 205 á 208 son las más usadas, si bien las últimas, variadas con adornos más ó ménos ricos, se han empleado especialmente en las edificaciones de la Edad Media.

De ordinario los contrafuertes se hacen con la misma fábrica que los muros; pero algunas veces se refuerzan con cadenas sus aristas salientes, cuidando en uno y otro caso de enlazarlos bien con el resto del muro. Tanto la cara superior del contrafuerte, como la de los escalones que pueda formar, se cubren con losetas, cuyo sobrelecho aparece con una inclinacion bastante marcada para facilitar la pronta salida de las aguas pluviales; y á fin de que no se filtren á través del resto de la fábrica, se revisten las juntas con esmero.

Hay otros contrafuertes (fig. 209) que inferiormente están separados del muro, pero que se unen á él por su parte superior, formando uno ó más arcos sobrepuestos, y se llaman *botareles*. Tienen por objeto contrarestar el empuje de las bóvedas por arista, y proporcionan con un volúmen pequeño una gran estabilidad, habiéndose empleado con mucha frecuencia y acierto en los edificios religiosos de la Edad Media. Como la solidez de la obra total está fiada á la resistencia de los botareles, es necesario construir éstos con materiales de eleccion, que no se degraden por la accion de los agentes exteriores, y ejecutar su fábrica con todo el esmero posible.

157. **Entramados verticales.**—Reciben este nombre las paredes construidas con una fábrica mista, que se compone de varias piezas de madera situadas en un plano vertical, convenientemente dispuestas y ensambladas para que no pueda deformarse el conjunto por los esfuerzos exteriores, y rellenos los intervalos que dejan con una fábrica conveniente de las que hemos examinado.

La disposicion de las piezas de madera es muy variable; pero siempre debe tratarse de colocarlas de modo que su longitud se encuentre en la direccion de los mayores esfuerzos y de ligarlas entre sí por medio de otras piezas, ya normales á las

primeras, ya con cierta oblicuidad, á fin de que resulte un sistema triangular y por lo tanto indeformable. En gran parte contribuye á la solidez del conjunto la buena ejecucion de los ensamblajes, y esto, unido á la perfecta ligacion del relleno con el maderámen, hace que los entramados puedan llenar en la edificacion el mismo objeto que las paredes de fábrica, siendo en muchas circunstancias preferibles por su mayor economía y rapidez en la construccion.

Segun se construyan los entramados en las paredes de fachada, en las maestras ó en los tabiques, así reciben estas mismas denominaciones; y si bien en su conjunto presentan en todos los casos la misma disposicion ya indicada, varían sin embargo en ciertos detalles, que será conveniente examinar.

158. **Entramados de fachada ó exteriores.**—Generalmente se componen de una pieza horizontal ó *solera s* (figs. 210 y 211) á la cual vienen á ensamblarse á caja y espiga varias verticales ó *postes p*, los cuales se ensamblan de la misma manera con otra pieza superior *c* llamada *carrera*. Las tornapuntas inclinadas en distintos sentidos y ensambladas tambien á caja y espiga con la solera y carrera, impiden la deformacion del sistema, debiendo con este fin ajustar bien sus ensamblajes, como los de las demás piezas.

Las aberturas de puertas y ventanas se sitúan entre dos postes, llamados *de cerco*, para distinguirlos de los restantes, denominados *de relleno*, y á los cuales se fija el marco que sostiene las hojas de madera que cierran la abertura. La parte superior é inferior de este marco, ya afecte la forma recta ó curva, se fija convenientemente á piezas horizontales *aa* que ligan á los postes de cerco; pero en el segundo caso se forma la parte curva con piezas aplantilladas *b* que se ensamblan con las contiguas, y cuya posicion en el plano que deben ocupar se consolida cuando la abertura presenta grandes dimensiones, por medio de *manguetas* ensambladas á las otras piezas del entramado.

Los entrepaños ó espacios comprendidos entre los vanos se refuerzan, cuando son demasiado grandes para que una sola tornapunta pueda llenar bien el objeto, colocando trozos de postes *d* que se ensamblan á aquella á barbilla sola, ó lo que es mucho mejor, con espiga y barbilla ó estableciendo otra torna-

punta en sentido contrario para formar una cruz de San Andrés *fg*. A veces, y cuando la extension del entrepaño lo hace necesario, se da más superficie de apoyo á la carrera, ensamblando superiormente los postes á unas pequeñas piezas horizontales *z* llamadas *zapatas* (fig. 212) las que se ligan á aquella con cinchos de hierro ó clavazon; en otros casos se disminuye la flexion que experimentaria la carrera colocando debajo la *sopanda s*, apoyada sobre los jabalcones *jj* que se ensamblan á los postes extremos, y por fin se duplican las cruces de San Andrés cuando es necesario. Tambien se consolidan los umbrales y dinteles poniendo *pilarejos i* (figs. 210 y 211) que los ligan á las piezas superiores ó inferiores del entramado. Todos estos ensamblajes se ejecutan, como hemos dicho, con esmero, y en muchos casos se los refuerza con pernos, cantoneras y escuadras de hierro, que se fijan de una manera invariable con pasadores.

En los entramados de fachada se empieza por establecer las soleras, que se ensamblan entre sí en las esquinas á media madera, reforzadas con una cantonera *n*; se colocan despues los postes, cuidando de dar mayor escuadria á los que están en los ángulos salientes, que reciben el nombre de *cornijales*, y situando encima las carreras, del mismo modo que se ha dicho para las soleras. Estas se establecen unas veces sobre zócalos de fábrica para preservarlas de la humedad, en los que se empotran en parte de su altura (fig. 210) y otras insisten solamente en apoyos aislados (fig. 211) que cuando presentan mucha separacion exigen dar á la solera una gran escuadría. En muchos casos hay que consolidar estas soleras con piezas de madera inclinadas y refuerzos de hierro, constituyendo una viga armada, que refiere á los apoyos las cargas centrales superiores. Cuando la fachada ha de tener varios pisos se monta el segundo sobre la carrera *c* (fig. 210) del mismo modo que el primero lo está sobre la solera, cuidando de situar los postes de suerte que se correspondan en ambos; pero cuando se ejecuta con más esmero la obra (fig. 211) vienen á apoyarse sobre la carrera las vigas que forman el suelo, segun veremos en su lugar (245 y siguientes), y sobre estas se cruza la *sobre-carrera r* con rebajos á veces en su cara inferior para enceparlas, y la cual sirve de solera al entramado del piso superior.

Una vez levantada la parte de madera ó *telar* de un entramado, se comienza á rellenar los intervalos con una fábrica que por lo regular es de ladrillo ó mampostería. Para que este relleno ó forjado no pueda salirse de su posicion por falta de adherencia á las piezas de madera, se forma á veces en estas una ranura (fig. 213) en la cual se hace encajar el extremo del relleno; pero otras se evita el tener que debilitar las piezas, clavando cerca de las aristas dos listones (fig. 214) que constituyen un encajonado, como en el caso anterior. Tambien se adopta, cuando la ejecucion es poco esmerada, reemplazar los listones por un claveteado de *hijuelas* ó trozos de clavos, que entra en las hiladas del relleno; pero este medio tiene el grave inconveniente de que se oxidan y destruyen las hijuelas al cabo de cierto tiempo, rompiéndose la ligazon entre el telar y el forjado.

En los casos en que la importancia de la construccion vaya siendo cada vez menor, se adopta para el relleno la fábrica de adobes, que se ejecuta como la de ladrillo, pero cuyo paramento se suele revestir, á fin de que no se altere por la accion de los agentes exteriores. Tambien se emplea un tapial formado con palos, á los que se rodea una cuerda de esparto, llamada *tomiza*, que se recubre con mortero de arcilla: los extremos de los palos se introducen en ranuras abiertas en las piezas del telar (fig. 215) y cuando se ha secado la arcilla se recubre el paramento con cal ó un blanqueado cualquiera. Por último, tambien se ejecuta el relleno, ó mejor el revestido, con tablazon, cuando es abundante la madera, poniendo las tablas horizontalmente y clavándolas al telar, como aparecen en secciones en las figs. 216 á 218: á veces se forma otro revestido por la parte interior y se deja vacío el intervalo que comprenden, ó se rellena con tierra, musgo ú otras sustancias, á fin de hacer ménos sensible la temperatura exterior.

Terminado el relleno, se le rejunta ó cubre hasta llegar al paramento del telar, quedando éste aparente y pintándole cuando esté perfectamente seco, para su mejor conservacion. En otros casos se recubre todo y se imita otra fábrica más resistente; pero es fácil de este modo apresurar la putrefaccion de la madera, que se encuentra rodeada de fábrica por todas partes, razon por la que no es de recomendar este procedimiento.

159. **Entramados maestros y colgados.**—Poco ó nada difieren los primeros de los entramados que acabamos de estudiar, así en su composicion como en su ejecucion. Cargando sobre ellos los suelos y siendo conveniente reducir su grueso para dotar de más capacidad á las habitaciones, se reducen por lo regular los intervalos entre las piezas de madera, que entonces pueden tener algo menor escuadría, proporcionando la misma resistencia.

La disposicion de los colgados es muy distinta de los anteriores, porque en efecto, su objeto no es sostener cargas, sino establecer la subdivision de las habitaciones, de tal modo, que los tabiques que la forman recarguen lo ménos posible á los suelos sobre que insisten. Estos entramados se establecen, por lo regular, perpendicularmente á dos paredes paralelas, en las cuales se empotran, para lo cual se abren en éstas dos rebajos verticales, en los que se encajan los postes *aa* (fig. 219). A éstos se ensamblan las piezas horizontales ó *aldabias bb* y las demás que sean necesarias para el buen enlace entre los dos postes, cuidando de que haya entre las primeras y el suelo y techo contiguos alguna separacion, á fin de permitir el aumento de volúmen del yeso, que es el material más empleado en los rellenos de esta clase, sin ocasionar pandeos ni vientres en el tabique. Con objeto de referir la mayor parte del peso á los postes, se colocan los jabalcones *dd*, á los que se enlazan varias piezas del entramado. En el caso representado, el contorno *fghi*, corresponde á una puerta.

El relleno de estos tabiques puede verificarse segun sea el grueso que hayan de tener, con ladrillos colocados á soga ó á media asta y con el mismo material puesto de modo que su cara mayor esté en el paramento y sea horizontal su longitud. En este caso recibe el nombre de *panderete* y puede ser sencillo ó doble si se forma con dos capas de ladrillo, que unas veces están en contacto y otras dejan entre sí algun intervalo para amortiguar la trasmision de los sonidos. Tambien se emplean con el mismo objeto ladrillos huecos, y finalmente se hace uso de pequeños trozos de tabiques, que provienen del derribo de los edificios y se conocen con el nombre de *yesones*.

160. **Advertencia respecto á los muros de edificacion.**—El esmero al ejecutar la fábrica de que estos muros se compo-

nen es condicion esencial para que la obra resulte con la solidez necesaria. La construccion debe llevarse por hiladas ó tongadas, no comenzando la ejecucion de una hasta que la inferior se encuentre terminada ó poco ménos.

Las dimensiones de estos muros se determinan por medio de las fórmulas conocidas de la mecánica aplicada; pero puede evitarse su empleo admitiendo los valores consignados en el cuadro siguiente, tomado del *Cours de construction* de *M. Demanet*, los cuales pueden comprobarse con las fórmulas, si hubiera duda en algun caso.

Cuadro que expresa el espesor que se da á los muros de los edificios.

CLASES DE MUROS.		ESPESORES.
Muros de fachada.	en los cimientos	0,^{m}75 á 0,^{m}97
	en los zócalos	0,^{m}57 á 0,^{m}81
	en el piso bajo	0,^{m}49 á 0,^{m}65
	en el primer piso	0,^{m}43 á 0,^{m}54
	en el piso más alto	0,^{m}35 á 0,^{m}48
Paredes maestras		0,^{m}40 á 0,^{m}48
Tabiques		0,^{m}10 á 0,^{m}20
Paredes de cerca, de 3 á 4 metros de altura	en los cimientos	0,^{m}54 á 0,^{m}60
	al nivel del suelo	0,^{m}35 á 0,^{m}40
	en la coronacion	0,^{m}35 á 0,^{m}38
Entramados de fachada de 4 metros de altura y de 0,^{m}22 á 0,^{m}24 de grueso	cornijales	0,^{m}24 á 0,^{m}27
	postes de puerta cochera	0,^{m}22 á 0,^{m}24
	idem de márcos	0,^{m}19 á 0,^{m}22
	idem de relleno	0,^{m}16 á 0,^{m}22
	soleras y carreras	0,^{m}22 á 0,^{m}24
	tornapuntas, jabalcones y cruces de San Andrés	0,^{m}16 á 0,^{m}22
	pilarejos	0,^{m}13 á 0,^{m}22
	separacion de los postes de relleno	0,^{m}27 á 0,^{m}33
Entramados maestros	de 4 metros de altura (grueso).	0,^{m}16
	de más de 4 metros (id.)	0,^{m}19
Postes	sosteniendo suelos	0,^{m}13 á 0,^{m}16
	no sosteniéndolos	0,^{m}11 á 0,^{m}14
Tabiques (grueso)		0,^{m}08 á 0,^{m}14

161. **Muros de sostenimiento.**—Estos muros, cuyo objeto es sostener por uno de sus paramentos un cierto volúmen de terraplen que llega hasta su coronacion ó más arriba, tienen un uso muy frecuente, no solo en las murallas de fortificacion, sino en las obras públicas y particulares. Su importancia es grande, tanto porque permiten que un terraplen dado ocupe en su base una superficie mucho menor que si se dejara á las tierras tomar su

talud natural, como porque en muchos casos en que las tierras escasean resulta la obra más económica, y en otros muchos hacen posible la construccion de terraplenes sometidos á la accion erosiva de las aguas corrientes, que de lo contrario no podrian subsistir.

La forma que de ordinario presentan en su perfil, consta de un cimiento *abcd* (figs. 220 y 221) sobre el que insiste el zócalo y encima el cuerpo del muro, cuyo paramento visto *bf* suele aparecer con un talud variable de $^1/_6$ á $^1/_{10}$ ó ménos aún y el oculto se dispone ó vertical ó en escalones, á fin de facilitar la construccion y de que aumente la estabilidad de la obra con el peso del prisma superior de tierras. Su coronamiento se reduce por regla general á una sencilla loseta volada sobre el paramento. Conviene sin embargo advertir que cuando la altura del muro sea mayor que 8 ó 10 metros, no solo es monótono el aspecto de un talud contínuo, sino que es muy difícil obtener una superficie perfectamente plana; y para salvar ambos inconvenientes se remplaza el talud por una série de retallos ó escalonados (fig. 220). Estos tienen la ventaja de dar variedad al paramento y permiten rectificar y corregir cualquier pequeño error que se haya cometido en la parte inferior de la construccion, para lo cual bastará modificar algo el ancho de los retallos, lo cual podrá ocasionar pequeñas desigualdades, que no son perceptibles á la vista y que proporcionan el medio de ir comprobando en cada caso la posicion exacta de la obra.

162. **Su naturaleza.**—Respecto á la fábrica que se adopte, su ejecucion y refuerzos que pueden establecerse en estos muros, es aplicable cuanto sobre el particular hemos dicho en este capítulo y el anterior, por más que en este caso se admitan formas y disposiciones que no se emplean en los muros de edificacion.

Aunque alguna vez se hacen de sillarejo los paramentos de estos muros y hasta se llega en las obras monumentales á construirlos de sillería, solo tiene esto lugar en casos excepcionales, y generalmente solo se emplean tales fábricas en los refuerzos, ejecutando el resto con ladrillo y mampostería más ó ménos esmerada. En lo tocante á ésta, nada tenemos que añadir á lo ya expuesto; pero con aquel se deben adoptar ciertas disposiciones para que la obra resulte con la solidez que deba tener.

En los extremos de los muros y ángulos salientes es preciso aparejar el ladrillo de modo que la menor dimension horizontal en el paramento sea su ancho. Si por las dimensiones de la obra hubiera necesidad de poner alguna fraccion menos de ladrillo, que nunca será menor que el $^1/_3$ de su longitud, se colocará en la parte central de cada hilada. Como es conveniente que en el paramento resulte el menor desarrollo posible de juntas, á fin de reducir la zona atacable por los agentes exteriores, es preferible, bajo este punto de vista, la adopcion del aparejo moderno inglés; despues siguen los que hemos examinado más atrás (129), y por último, el ménos conveniente es el llamado francés, en el que todos los ladrillos están á tizon, el cual además exige partir uno sí y otro no de los del paramento para la buena trabazon con los del interior. Si representamos por 100 el desarrollo de juntas é hiladas en el primer caso, el que corresponde á los dos últimos será respectivamente 106 y 112.

Los coronamientos de ladrillo se ejecutan colocándolos *á sardinel*, esto es, de canto, y apareciendo en el paramento su cara menor ó intermedia (fig. 222). En esta posicion es más difícil extraerlos que en la ordinaria; pero en cambio se encuentran colocados con poca estabilidad, razon por la que es necesario situar en cada extremo un sillar ó un macizo de hormigon *a*, que contenga los ladrillos centrales. Cuando la coronacion es bastante inclinada (figs. 223 y 224) se colocan tambien á sardinel, cuidando de enlazarlos convenientemente con las hiladas horizontales. A veces se recubren los sardineles de los coronamientos con losetas que preservan mejor la parte superior de los muros, las cuales se enlazan sólidamente entre sí por medio de grapas.

163. **Ejecucion de estos muros.**—Determinada la fábrica de que se ha de formar el muro y hecho el replanteo, cimientos y zócalo, con arreglo á lo que sobre el particular se ha dicho más atrás, se construye el resto tomando ciertas precauciones, segun los casos. Si durante las grandes lluvias las tierras del terraplen pueden absorberlas en alguna cantidad, ocasionarian un empuje lateral tan enérgico que podria arruinar la obra; y con el fin de evitarlo, se facilita la salida del agua interior á través del muro, por medio de *mechinales mm* (fig. 221), que no son más que aberturas de seccion cuadrada, rectangular ó circular,

con un ancho aproximado de 0,m10 y la necesaria inclinacion para la marcha y salida del agua: de ordinario se coloca un mechinal en cada 3 ó 4 metros cuadrados de paramento.

Cuando el terraplen sea de arena y grava que permita la filtracion del agua, ésta saldrá fácilmente por los mechinales, para lo cual se cuidará de apisonar bien las capas que le forman; pero si las tierras fueran más ó ménos impermeables se colocará entre el terraplen y el muro una capa de piedra partida ó grava gruesa, que tenga 0,m30 de espesor por lo ménos, la cual absorbe y facilita la salida del agua filtrada. Este mismo objeto se consigue, aunque con ménos eficacia, construyendo el paramento interior del muro con mampostería en seco. Si el terraplen se forma con tierras legamosas que al impregnarse de agua adquieren un estado semifluido, hay que tomar las precauciones antedichas y dar al muro el espesor conveniente para resistir el empuje que en tal caso se ocasiona.

Siempre que un muro se encuentra expuesto á la accion directa de las aguas corrientes exteriores, los mechinales serian dañosos, y en tal caso se cuida de formar el terraplen de modo que las aguas no puedan filtrarse en su interior. Las figs. 225 y 226 representan un muro de esta naturaleza, con el paramento de sillería regular, el cimiento de hormigon y el interior de ladrillo, destinado á encauzar el Támesis en Lóndres. Al lado del mismo se ven dos grandes aberturas practicadas en un macizo de hormigon, destinada la inferior al alcantarillado de la poblacion y sirviendo la superior de paso subterráneo. Cuando los muros de sostenimiento son de ladrillo y no están expuestos á las aguas corrientes, se suelen formar de una série de contrafuertes ligados por paramentos cilíndricos ó cónicos, que presentan al exterior su concavidad. Las secciones verticales de la fig. 227 y la horizontal que aparece en la parte inferior de la 228, representan dos muros paralelos de esta clase, reforzados interiormente con hormigon y ligados sus piés con una bóveda invertida: en el paramento, en contacto con las tierras, hay una capa de ladrillos partidos y de cuando en cuando tubos de alfarería para absorber y conducir inferiormente al exterior las aguas filtradas en el terraplen. Estos muros se han empleado en los desmontes del ferro-carril subterráneo de Lóndres, para sostener los terrenos adyacentes.

164. **Muros de contencion y de revestimiento.**—Si en lugar de terraplen contiene el muro una cierta masa de agua, ó forma una *presa*, hay que empezar por asegurar su cimiento al terreno por cuantos medios se consideren necesarios, y construir el resto con el mayor esmero; á fin de que el agua no pueda abrirse paso por las juntas é hiladas y producir en el paramento opuesto resudamientos ó filtraciones. Con este objeto se rejunta cuidadosamente la fábrica, en la que se emplean morteros hidráulicos, y á veces se reviste el paramento en contacto con el líquido con una capa de hormigon, ó con buen mortero de cemento.

Se evita muchas veces el desmoronamiento de los taludes en los desmontes, revistiéndolos, en un cierto espesor, con fábrica de mampostería en seco ú ordinaria, que presenta la misma inclinacion que el talud. Este revestimiento, por su forma y posicion, se aproxima á los empedrados; y al tratar de la conservacion de las obras de tierra veremos ejemplos de construcciones de esta naturaleza.

ARTÍCULO II.

Apoyos aislados.

165. **Su objeto y clasificacion.**—Estas construcciones, que afectan la forma de prismas ó cilindros verticales con un pequeño grueso relativamente á su altura, se emplean con el fin de proporcionar puntos de apoyo á bóvedas, suelos y en general á cargas situadas superiormente.

Estos apoyos pueden construirse de fábrica, de madera ó de hierro, segun las circunstancias de cada caso. Los primeros reciben el nombre genérico de *pilares*, llamándose *macho* ó *machon* cuando su seccion horizontal es un rectángulo; *pilastra* si la forma de dicha seccion es cuadrada y la altura guarda ciertas proporciones arquitectónicas con la base, y finalmente *columna* siempre que la seccion es circular y se fija la relacion entre el diámetro y la altura con sujecion á ciertas reglas. Los segundos se denominan *postes* ó *piés derechos*, y aunque su seccion ordinaria es la rectangular ó cuadrada, aparece alguna vez circular como en las columnas. La seccion de los apoyos de hierro es muy variada, apareciendo unas veces en forma de

cruz griega con más ó ménos refuerzos y otras en la de rectángulos ó círculos, quedando hueca la parte central.

Por regla general y con el fin de proporcionar al apoyo la solidez necesaria, se ensancha algo su base para fijarla convenientemente, ya sobre el terreno natural, ya sobre un suelo más elevado, cuando se encuentra en los pisos altos de un edificio. Por la misma razon y con objeto de aumentar la superficie de contacto entre la obra sostenida y el apoyo, se ensancha tambien éste por su extremo superior. En muchos casos sirven en la arquitectura de adorno estos refuerzos, combinándolos con cierta variedad, segun la forma geométrica del apoyo.

166. **Apoyos de fábrica.**—Frecuentemente se hace uso de la sillería en la construccion de los apoyos, la cual se ejecuta por hiladas de una sola pieza, siempre que sea posible, y tomando cuantas precauciones se han dicho al tratar de esta fábrica. Si el gasto no es excesivo y el material es resistente, puede hacerse todo el apoyo de una sola piedra, lo cual anula las hiladas, y por consecuencia el asiento que originan: esta disposicion es aceptable, siempre que la naturaleza de la piedra, sea homogénea; pero si se presenta en bancos deberán situarse horizontalmente sus lechos. Cuando las dimensiones horizontales del apoyo no permitan que cada hilada se forme de un solo sillar, que recibe el nombre de *tambor* si su seccion es un círculo, se hace que las superficies de junta de una hilada crucen á ángulo recto á las de la hilada inferior ó se aproximen cuanto sea posible á esta posicion, cuidando en todo caso de reducir su número y de emplear las grapas y demás medios auxiliares que se crean necesarios.

Tambien se emplea con este objeto el ladrillo, que se le da la forma de sector, cuando sea circular el apoyo, y se ejecuta con esmero la fábrica á fin de reducir el asiento cuanto se pueda. En el dia se prefiere para las columnas el empleo de tambores de terra-cotta, los que por medio del moldeado presentan en su exterior los adornos y molduras que deban aparecer en el apoyo: éstos proporcionan con poco peso una gran resistencia, y por sus dimensiones reducen el número de hiladas y por lo tanto el asiento.

Aun cuando se emplea asimismo el sillarejo y el hormigon en los apoyos, nada tenemos que decir respecto al primero, y el

segundo debe considerarse más bien como un refuerzo, segun indicaremos poco despues (168). En algunos casos se hace con material de eleccion, tal como la sillería, la basa ó pié del apoyo y la imposta ó capitel y hasta se llega á veces á formar algunas hiladas á ciertas alturas con el mismo material; pero lo más frecuente es emplear una sola fábrica, dándola en los extremos el ensanche necesario.

De todos modos, es conveniente que el asiento total de los apoyos sea el mismo que el de las fábricas contiguas situadas lateralmente, á las que de una manera más ó ménos directa se encuentran ligados, con el fin de evitar los agrietamientos que en caso contrario tendrian lugar.

167. **Apoyos de madera.** Con este objeto se emplean piezas generalmente escuadradas, en posicion vertical, que deben ser de un solo trozo. Cuando el poste tenga que apoyarse en el suelo natural ó sobre una bóveda, se le preserva de la humedad colocando debajo un zócalo ó dado de piedra *a* (fig. 229) de 40 á 60 centímetros de altura, en cuya cara superior se abre una caja cilíndrica, que ocupa la espiga del poste; pero si éste insiste sobre un suelo superior del edificio, se suprime el zócalo uniéndose el poste de diversas maneras, segun los casos, á las piezas que forman el suelo. Unas veces es á caja y espiga; otras simplemente á junta plana, y otras por fin interponiendo zapatas.

Estas mismas disposiciones, y además la de tenaza, se adoptan para la union por el extremo superior del poste, segun aparecen en las figs. 230 y 231 de la lám. 9 y 232 de la 10, reforzando las zapatas, cuando son de gran extension, por medio de jabalcones.

Las uniones antedichas se hacen en ocasiones con más solidez empleando el hierro fundido, á cuyo fin se obtiene una pieza que por la parte inferior forme una caja *ab* (fig. 233) en la que entra la cabeza del poste, y por la superior termina en una placa horizontal cuyos extremos se refuerzan y enlazan con aquella por medio de escuadras *ac* y *bd* de forma muy variable. La placa superior tiene á veces una pared *ced* á cada lado para impedir el movimiento lateral de la viga que está encima.

A causa de la corta duracion de la madera y de las degradaciones á que se encuentra expuesta, se hace en la actualidad mucho ménos uso que antes de este material, para la construc-

cion de apoyos aislados; pudiendo decirse que en las edificaciones de alguna importancia solo se emplea en el dia el hierro con este objeto.

168. **Apoyos de hierro.**—Este material, por su resistencia y demás cualidades, se presta muy bien á la construccion de apoyos aislados; así es que actualmente se sustituyen con frecuencia los antiguos gruesos apoyos de fábrica y los de madera por delgadas columnas de hierro, que reunen la solidez á la elegancia.

El hierro fundido, por su gran resistencia á la presion, cumple muy bien este objeto, siempre que la longitud del apoyo con relacion á su base no sea grande, ó no se encuentre sometido á esfuerzos de flexion. La forma que se le dá con preferencia es la de una columna hueca, cuya longitud no pase de 20 á 24 veces su diámetro y cuyas paredes tengan al ménos de grueso $^1/_{12}$ del mismo. A fin de proporcionar más resistencia y estabilidad á estas columnas, se ensanchan sus extremos en forma de basa y capitel, que terminan en dos planos hechos á torno y perpendiculares al eje de la columna. Esta se hace en la generalidad de los casos de una sola pieza; pero cuando sus dimensiones son excesivas se la forma de anillos ó trozos sobrepuestos, que presentan en sus extremos superficies planas y perpendiculares al eje de la columna, segun las que resultan en contacto dos anillos contiguos. En estos extremos, aparece algunas veces un reborde plano hácia el interior (fig. 234) uniéndose los dos inmediatos por medio de cuatro ó más roblones, y otras se enlazan sencillamente haciendo uso de enchufes (fig. 235), resultando en el exterior un refuerzo horizontal que contribuye al ornato del apoyo.

En la primera disposicion, que se adopta cuando las dimensiones horizontales de la columna son bastante grandes y se desea que resista esfuerzos importantes exteriores, se aumenta su solidez rellenándola con buen hormigon; consiguiéndose de esta manera que, aun dado el caso de que pudiera destruirse la parte de hierro, siempre quedará un apoyo monolito capaz de sostener las cargas superiores. En las edificaciones se emplea por regla general la segunda disposicion.

Posteriormente se ha introducido el empleo del hierro laminado en estas construcciones, á causa de sus ventajosas cualida-

des respecto al fundido, sobre todo, cuando la altura de la columna exceda á veinte veces su diámetro. Como aquel material no se presta fácilmente á darle la forma cilíndrica hueca, se empezó por adoptar en la seccion la de una cruz, constituida por una plancha *aa* (fig. 236) cruzada por otras dos más estrechas, consolidadas por cuatro hierros en ángulo y roblones; despues se adoptaron dos barras cuya seccion es una T (figura 237) roblonadas por sus cabezas. Más adelante se obtuvo una seccion rectangular hueca (fig. 238), empleando dos planchas y dos hierros en canal *cc* convenientemente roblonados, y en el dia se ha conseguido construir columnas de seccion octogonal con nervios salientes y roblonados entre sí (fig. 239), haciéndose por último completamente circulares, segun aparece en seccion y proyeccion en las figs. 240 y 241. De esta manera se obtienen apoyos de 13 á 40 centímetros de diámetro que aparecen con refuerzos verticales y cuyos extremos ajustan en cajas abiertas en piezas de fundicion, que sirven de basa y capitel á la columna.

El pié de estos apoyos termina en una placa ó reborde horizontal con cuatro ó más taladros, por los que pasan otros tantos pernos que están empotrados en la fábrica inferior (figura 525). Superiormente se pueden fijar de una manera análoga, si bien en la generalidad de los casos no hacen más que insistir las cargas superiores, como hemos visto en los apoyos de madera con cajas de fundicion.

169. **Observacion.**—Los apoyos aislados pueden considerarse como muros cuya seccion trasversal es muy pequeña y cuya superficie de paramento es sumamente grande respecto al volúmen; asi es, que es preciso tomar en su construccion cuantas precauciones sean necesarias á fin de que resistan bien la accion de las cargas superiores y la influencia de los agentes externos que tiendan á degradarlos. Con este objeto se rejuntan, se enlucen ó se pintan con esmero, y se cuida de su buena conservacion.

ARTICULO III.

Revoques, enlucidos y estucados.

170. **Generalidades.**—Asi como el rejuntado tiene tan solo por objeto preservar de las acciones atmosféricas el mortero interior de las juntas é hiladas, así tambien preservan los revoques, enlucidos y estucados todo el paramento de las mismas influencias y demás agentes exteriores, y muchas veces contribuyen eficazmente al ornato de la construccion.

Pueden ser necesarios en el paramento exterior de los muros de fachada, siempre que los materiales de que se compone sean atacables por los agentes antedichos; pero su empleo más frecuente es en el interior de las habitaciones, á fin de que sus paredes presenten una superficie contínua y uniforme. Consisten, en general, en capas más ó ménos delgadas, de morteros ú otros materiales análogos, que se extienden sobre el paramento que se trata de recubrir, al cual se adhieren perfectamente para que formen un solo todo con el resto del muro.

171. **Revoques.**—Se da este nombre á las capas que en muchos casos recubren las fachadas y paredes de los edificios. Con este objeto se suele emplear el yeso siempre que sea de buena calidad y pueda adquirirse con economía; pero en caso contrario se hace uso de la cal.

Si se emplea el yeso, se empieza por preparar el paramento, esto es, se le limpia bien y se le moja con una escoba si el muro es nuevo; pero si fuera viejo, se le deberá antes picar con el pico, la piqueta ó la alcotana (a): además de descarnar en muchos casos las juntas, se introducen en ellas pequeños ripios, para facilitar la adherencia del revoque. Hecha esta preparacion, se amasa despues el yeso, que se habrá hecho pasar por un zarzo, á fin de que resulte algo grueso, formándose de éste modo una pasta suelta. Con ésta se empiezan á formar nérvios ó maestras verticales, cuyo grueso sea el que haya de tener el revoque y con un ancho de 5 á 10 centímetros, distando una de otra de 1 á 2 metros. Estas sirven de guia para el relleno de

---

(a) La *alcotana* (fig. 242) es una herramienta parecida al zapapico que termina por un extremo en forma de azuela y por el otro en la de hacha.

los intervalos, que se verifica arrojando con fuerza el operario sobre el muro el yeso amasado, ya con la mano ó con paleta, hasta formar una capa de espesor casi uniforme de 15 á 20 milímetros, que se iguala por medio de reglas apoyadas en las maestras. Cuando el revoque haya de quedar aparente se iguala su superficie primero con la talocha (a) y despues con la paleta; pero por lo regular se recubre aquel con un enlucido y entonces se deja la superficie del primero bastante rugosa á fin de que el segundo pueda adherirse bien: esto se consigue formando en el revoque numerosas estrias con el canto de la paleta ó de la llana.

Cuando el revoque sea de cal, se verifica la preparacion del paramento de la misma manera que en el caso anterior. Despues se fabrica un mortero de cal y arena, algo graso, esto es, que la proporcion de la cal sea algo mayor que de ordinario, el cual se extiende con la paleta formando una capa del mismo espesor que en el caso anterior. Si ha de quedar aparente el revoque se le alisa, y si se le ha de cubrir con un enlucido se le estria, como se ha dicho más arriba.

172. **Enlucidos.**—Acabamos de decir que sobre el revoque se extiende muchas veces otra capa, llamada *enlucido*, la cual puede hacerse de yeso ó mortero, como aquel, y cuyo grueso varia de 5 á 10 milímetros. Se hace uso del yeso ó de la cal, segun sea la naturaleza del revoque.

Para formar el enlucido de yeso, despues de bien preparada la superficie del revoque, como hemos dicho, se pasa aquel por un tamiz fino y se le amasa formando pasta algo consistente. Hecho esto, se le extiende con igualdad sobre el revoque con una paleta de cobre y despues se pasa la talocha en todos sentidos y con poca presion, á fin de alisar bien la superficie del enlucido. Si la talocha deja algun defecto se le hace desaparecer con la llana, con la que tambien afina el operario las aristas entrantes y salientes é iguala el resto del paramento hasta secarse bien el enlucido. A veces se da á estos enlucidos un color semejante al del ladrillo, para lo cual se mezcla con el yeso al amasarle bastante cantidad de ocre rojo.

(a) La *talocha* es un útil de madera (fig. 243) formado de una parte plana con un mango, que sirve para extender y alisar el mortero en los paramentos. Cuando el plano es de hierro, recibe el nombre de *llana*.

Con este objeto se emplea tambien el mortero de cal ordinaria, en el que la proporcion de arena, que se elige fina para estos casos, es algo mayor que de costumbre, á fin de que la contraccion al fraguar sea menor y no se ocasionen grietas en el enlucido. Esto mismo se consigue muchas veces mezclando un kilógramo de pelote por metro cúbico de mortero. Obtenido el material, se le extiende é iguala con la talocha, y poco antes de secarse se le alisa con la llana, como antes hemos dicho.

Tambien se emplean para los revoques y enlucidos morteros de cal hidráulica y de cemento, que se colocan en obra como hemos dicho en los casos anteriores; pero tomando las precauciones consiguientes al rápido fraguado del material, que exige se le coloque, extienda y alise en poco tiempo.

Los revoques y enlucidos se forman por fajas ó zonas, unas veces horizontales y otras verticales, debiéndose cuidar que se verifique bien la union entre dos fajas contiguas y entre las partes que constituyen cada una de ellas. Para conseguir ésto, se adopta una disposicion parecida á la que se describió en la fábrica del hormigon y del tapial, la cual consiste en terminar cada faja por un estrecho plano inclinado *ad* (fig. 244) al que se une la contigua, repasándola y oprimiéndola hácia la cara de la union. Del mismo modo se enlazan dos partes adyacentes de la misma faja, terminando la primera en un plano inclinado *ab* y repasando la última en el sentido *ba* y *da*, lo que unido al peso del material que carga sobre la cara *ab* hace ligar perfectamente ambas partes.

173. **Observacion.**—En los revoques y enlucidos debe emplearse una cal perfectamente apagada, pues de lo contrario se producirian ampollas, que estropearian la obra ejecutada. Por esta razon deberá apagarse la cal con abundancia de agua, y tenerla en zanjas ó depósitos cubiertos por espacio de cinco ó seis meses, antes de usarla.

El empleo de materiales hidráulicos en estas obras es de una aplicacion frecuente y necesaria para recubrir el trasdós de muchas bóvedas, formando lo que se llama la contrarosca; para revestir el paramento interior de los muros de contencion; para preservar á las fábricas de la humedad y de las filtraciones, y en general para enlucir acueductos, depósitos y demás construcciones destinadas á contener el agua.

174. **Estucados.**—En gran número de edificaciones modernas se reemplaza el enlucido ordinario por otro susceptible de adquirir pulimento y presentando el aspecto del mármol, que recibe el nombre de *estuco*. Este puede hacerse como los revestidos que hemos examinado, con yeso ó con cal, reservando el primero para el interior de las habitaciones y haciéndose uso del segundo en las fachadas.

Para formar el estuco de la primera clase se empieza por elegir yeso de la mejor calidad, bien cocido y que no esté aireado, el cual se tritura en un mortero y se le pasa por un tamiz de seda muy fino. Despues se le amasa con una disolucion no muy clara de cola fuerte, goma arábiga ú otra coccion mucilaginosa, y se le puede luego extender sobre el revoque con la llana, de la manera ordinaria. Cuando está bien seco, se le empieza á pulimentar primero con la piedra pomez ó con un pedazo de arenisca blanda, despues con trípoli ó un trozo de fieltro, y por último se le da brillo con agua de jabon antes y aceite solo despues y una muñeca de trapo fino: se le frota bien y sin interrupcion hasta que salga el brillo.

Si se quiere tener un estuco blanco, es preciso emplear una cola incolora, como la de pescado; pero si ha de presentar colores, se mezclan óxidos metálicos diversos. El veteado imitando al mármol se obtiene aplicando estuco del color conveniente. Antes de comenzar el pulimento de la superficie se la debe igualar perfectamente, sobre todo cuando es de mucha extension; pues de lo contrario se hacen más sensibles los vientres por efecto del pulimento, y le dan un aspecto desagradable.

El estuco de cal se forma mezclando partes iguales de cal y mármol en polvo bien tamizado. La cal debe escogerse con cuidado y estar cocida á punto, apagándola por inmersion, y despues se la muele en mortero de mármol. Al cabo de cuatro ó cinco meses de apagada se la mezcla, sin añadir agua, con el polvo de mármol hasta formar un todo homogéneo. Preparada la pasta, se coloca sobre un enlucido bien igual y perfectamente seco, que se le prepara mojándole primero hasta que no absorba más agua, despues se aplica con un pincel una ligera capa de estuco que se ha diluido en agua en un vaso; y por último, se aplica el estuco pastoso ó duro con una espátula ó llana, formando una capa delgada. A medida que ésta se seca y endure-

ce se la pulimenta frotándola con un trapo mojado y con bruñidores de acero, y á veces con la yema del dedo en las molduras y adornos.

175. **Molduras y adornos.**—Muchas veces se decoran los enlucidos con adornos y molduras más ó ménos complicadas, formando fajas, cornisas, etc., que de ordinario se construyen con yeso, cemento, mortero ó estuco.

Cuando las molduras deban aparecer en direccion rectilínea, como sucede en las cornisas, se empieza por disponer la fábrica con las salientes necesarias, segun se dijo más atrás (155) y aparece en la fig. 245. Despues se establecen, inmediatamente debajo de la zona que han de ocupar las molduras, pequeñas maestras de yeso *a*, que sirven de puntos de referencia, y cuya separacion depende de la longitud de las reglas *b*, que suele ser de 4 metros: estas maestras tienen el grueso que despues hayan de presentar el revoque y enlucido que cubran el paramento. Hecho esto, se establecen por la parte superior otras maestras *d*, de un modo análogo, cuya saliente se determina con una plomada y una tabla horizontal *af*, que apoyándose en las primeras maestras lleva señalada la distancia *af*.

Encima, y enrasando exactamente con las caras salientes de las maestras *d*, se colocan unas á continuacion de otras varias reglas *b'*, las cuales se fijan bien á la fábrica por medio de pelladas ó patines de yeso *h*, y de un modo análogo se establecen inferiormente las reglas *b*, que se sostienen con clavos ó alcayatas clavados en la fábrica y pelladas de yeso. Fijas estas reglas en la posicion que deben ocupar y de tal suerte que resulten contínuas y paralelas á las aristas de las molduras las superficies sobre que despues ha de pasar una cierta pieza de madera, se ha hecho la parte más difícil y delicada del trabajo.

En este estado se hace uso de una pieza de madera ó *calibre* segun se ve en dos proyecciones verticales en las figs. 245 y 246, formada de una tabla, que presenta por un lado la forma de la seccion recta de la cornisa, perpendicularmente á la cual hay un pié ó pieza de madera *mm*, en cuya mitad, que presenta un rebajo, viene á ensamblarse el calibre, fijándose la union por medio de una cuña. La posicion relativa del calibre y de su pié se asegura más con los dos fuertes listones inclinados *qq*. Ordinariamente se corta el contorno de la seccion de la cornisa

en una hoja de palastro que se clava al calibre de madera, y así se obtienen aristas más vivas y superficies más iguales al formar las molduras. Además, el pié tiene un ángulo entrante á lo largo de una de sus aristas inferiores, el cual se apoya sobre las reglas *b*.

Preparado así el calibre y mojando con frecuencia las reglas superiores é inferiores para que aquel pueda deslizar con facilidad, se empieza por recubrir el perfil del primero con un trapo cuyo grueso sea próximamente el que haya de tener el enlucido de la cornisa, y con yeso ordinario se va formando el revoque, que se limita moviendo el calibre, como ahora diremos. Despues de formado el revoque se quita el trapo, limpiando perfectamente el contorno de la seccion, y sobre aquel se vá colocando con rapidez el yeso fino del enlucido, que se extiende por igual, moviendo á continuacion el calibre de manera que se apoye constantemente en las dos reglas *b* y *b'*. Por medio de este movimiento queda formado el contorno exacto de la cornisa; pero si en algunos puntos resultaran huecos ó depresiones, se rellenan con material fresco y se vuelve á pasar el calibre.

Siguiendo el mismo procedimiento, se construyen las jambas y dinteles de las aberturas, colocando en el interior las reglas que sirven de apoyo al pié del calibre, y estableciendo de antemano en el exterior el enlucido de la pared, sobre el cual insiste el otro extremo del mismo, segun se ve en rebatimiento para mayor claridad en la fig. 247. Cuando alguna moldura deba presentar en resalto hojas, ovos ú otro adorno análogo, se prescinde de su saliente, no teniéndolos en cuenta al trazar el perfil del calibre, y despues de formadas las molduras se fabrican aparte los adornos en un molde, y se fijan en aquellás por medio de yeso.

Tratándose de construir una archivolta ó molduras en arco de círculo, se fija el calibre al extremo de una tabla ó liston, que por el lado opuesto se sujeta al centro del círculo por medio de un clavo, á cuyo alrededor puede girar. La fig. 248 representa en alzado y rebatimiento está disposicion.

176. **Advertencia.**—En muchos casos en que se emplea un enlucido, se disminuye el grueso del revoque interior, constituyendo un empañetado que tiene por objeto presentar una su-

perficie contínua sobre la que se fija aquel. A veces se mezcla con el yeso del enlucido, al cocerle, 2 por 100 de alumbre, dotándole por este medio de más dureza, mejor aspecto y fraguando al cabo de muchas horas: aunque ventajoso este material por sus cualidades, tiene, sin embargo, el inconveniente de resultar mucho más caro que los que de ordinario se emplean.

Sobre el enlucido unas veces y reemplazándole otras, se coloca en muchos casos un *blanqueado* compuesto de una lechada de cal grasa y bien blanca que se extiende con brocha, dando dos ó tres manos (a). Este procedimiento, tan empleado en nuestras provincias del Mediodia y en Portugal, da un gran aspecto de limpieza hasta á las edificaciones más humildes. Igualmente se acostumbra, sobre todo en el último país citado, recubrir las fachadas con azulejos lisos ó con resaltos y de colores variados, que se fijan al paramento con mortero hidráulico ó con yeso en el interior de las habitaciones, presentando juntas sumamente estrechas. Este sistema, aunque muy eficaz para preservar á la fábrica interior de las influencias exteriores, produce, sin embargo, reflejos incómodos á la vista. Con resultados más eficaces aún, sin el inconveniente referido y dotando á la construccion de un gran carácter monumental, pero con el aumento de gasto consiguiente, se emplean tambien delgadas placas de mármol, adheridas al paramento de igual manera que los azulejos.

ARTÍCULO IV.

Andamios.

177. **Su objeto y clasificacion.**—Los andamios son construcciones provisionales de madera, que tienen por objeto, á más de sostener los operarios á la altura de los trabajos que ejecutan, poner á su alcance los materiales que hayan de emplear en la obra y servir de apoyo á las máquinas y aparatos necesarios á estos trabajos. Las condiciones principales que deben llenar son: presentar la solidez necesaria para resistir los esfuerzos á que accidentalmente puedan estar sometidos; poder-

---

(a) Se puede dar al blanqueado un matiz amarillo, gris, rojizo, etc., mezclando con la cal colores apropiados.

se formar y demoler en un tiempo relativamente corto, y conseguir estos resultados con la mayor economía posible.

En los andamios, lo mismo que sucede con las cimbras, de que nos ocuparemos más adelante, hay que estudiar su composicion, su colocacion y su demolicion. La segunda de estas operaciones se va ejecutando generalmente á medida que adelanta la obra, hasta llegar á la parte más alta, y la tercera se verifica en sentido inverso, empezando por quitar las piezas superiores cuando se ha refinado la zona más elevada de la construccion, y prosiguiendo de esta manera hasta llegar á la superficie del terreno. La composicion de los andamios, ó sea la disposicion de las piezas que entran á formarlos, es su parte más variable, y de la cual nos vamos á ocupar.

La forma de los andamios varía con la figura é importancia de la obra en que se emplean; pero siempre pueden referirse á tres tipos principales llamados *andamios de albañil, fijos y móviles*, los cuales se subdividen á su vez en otros grupos, dependientes de la disposicion y condiciones de la obra que se trata de ejecutar.

178. **Andamios de albañil.**—Son los más sencillos y se emplean en la construccion y reparacion de los muros de poca altura y de los techos de los edificios, recibiendo en el primer caso el nombre de verticales, y de horizontales en el segundo.

Los verticales consisten en una fila de maderos rollizos ó *espárragos*, *aa* (fig. 249), que distan del muro cosa de $1^m,50$, y entre sí de 2 á 3 metros, los cuales se empotran en el suelo sencillamente ó se refuerzan en su parte inferior con pequeños macizos de mampostería para que se mantengan verticales. Atándose por uno de sus extremos á los espárragos, se colocan otras piezas *cc*, llamadas *puentes*, normales al paramento del muro, las cuales se apoyan por su otro extremo en el mismo, á medida que se levanta, y en el que entran en una profundidad de $0^m,10$ á $0^m,15$. Sobre los puentes se tienden los tablones *dd*, que se atan por sus extremos á los primeros y sirven de piso provisional á los operarios.

Los andamios horizontales de albañil son muy sencillos y se reducen á tablones sostenidos por dos caballetes *ff* (fig. 250) ó por dos escalas de mano *gg* (fig. 251) apoyadas en los muros laterales.

En las dos clases de andamios descritos se comprenden otros muchos; pero que solo difieren de los primeros en detalles que en nada afectan á su objeto y disposicion general.

179. **Andamios fijos.**—Cuando los andamios tienen que sostener materiales pesados ó muchos operarios y los aparatos destinados á subir los materiales, hay necesidad de construirlos con más resistencia y cuidado, formando verdaderos entramados paralelos á los muros, sobre los cuales insisten los puentes y tablones que forman el piso. Estos andamios son unas veces sencillos, como en el caso anterior, cuando los puentes pueden entrar en la fábrica del muro; pero si esto no es posible, se los forma dobles, segun veremos despues. En ambos casos, y con arreglo á la altura que haya de tener el andamio, se forman los espárragos con maderos escuadrados que se van acoplando y empalmando á medida que sube la obra, segun se representa en la fig. 252. Las uniones de los maderos que forman cada espárrago son á junta plana, atándolos fuertemente, ó mejor empleando grapas, cinchos ó clavazon, de modo que resulte un todo sólido, estropeando las piezas lo ménos que sea posible.

Estos postes verticales se ligan de ordinario entre sí por medio de piezas horizontales *a*, clavadas á los mismos y sostenidas además por unos tacos *b*, llamados *egiones*, que se clavan tambien á los espárragos. Si fuera necesario dar más solidez al conjunto se colocan de un espárrago á otro piezas inclinadas, formando cruces de San Andrés. Sobre las piezas horizontales indicadas, y fijándolos á los postes verticales, se establecen los puentes que sostienen los tablones como ya se ha dicho.

Si la fábrica del muro es de tal naturaleza que no permite que los puentes dejen en él los huecos que ocasionan en los casos anteriores y que se rellenan al desmontar los andamios y refinar la obra, hay que establecer, á más de la fila de espárragos antedicha, otra análoga muy próxima al paramento del muro, que sirve para sostener el extremo correspondiente de los puentes. Estas dos filas se unen entre sí con los maderos horizontales é inclinados suficientes para formar un todo invariable, sirviendo los primeros de puentes; y con el fin de proporcionar más anchura se hace que sobresalgan de los postes exteriores, sosteniéndolos en esta parte con jabalcones *f* y piezas inclinadas, como aparece en la fig. 253, que representa la mitad

de la elevacion y el perfil del andamio levantado para la restauracion de San Gervasio de París.

En muchos casos se fijan los postes á soleras *aa*, *a'* convenientemente establecidas, y se da á los de la parte exterior un cierto talud, con objeto de proporcionar al andamio más estabilidad. Cuando el muro presenta vanos en suficiente número, puede disponerse á cada lado una fila de postes y ligarlas entre sí por piezas horizontales é inclinadas que pasen á través de las aberturas. En la parte superior de los andamios se suelen establecer maderos salientes, bien reforzados, en cuyo extremo se colocan las poleas ó aparatos que sirven para subir los materiales sin que tropiecen en los pisos inferiores; pero en muchos casos se colocan en la parte inferior los tornos y demás aparatos elevatorios, á fin de no cargar los andamios con su peso.

Cuando es grande la longitud del muro y los andamios han de ocupar mucha extension, se establecen éstos de trecho en trecho más fuertes y altos que de ordinario, en los cuales se disponen los aparatos y se suben los materiales, formando lo que se llaman *castillejos*, y en los intervalos que dejan se establecen andamios ligeros que permiten el tránsito de los operarios de un extremo á otro de la obra. Por lo regular los castillejos están formados por cuatro postes verticales bien ligados entre sí, que presentan en planta una forma rectangular ó cuadrada.

Si la construccion que se trata de levantar es la pila de un puente, la torre de un faro ú otra obra aislada parecida, se forma el andamio segun las reglas generales indicadas, de modo que comprenda á la obra y afecte la forma de un tronco de pirámide, cuidando de enlazar, siempre que sea posible, las caras ó aristas opuestas, cuando la construccion presente vanos. Tratándose de una bóveda, su forma influye en la del andamio correspondiente, pero en todos los casos se aplican los principios establecidos acerca de la disposicion y enlace de las piezas que le componen. Otro tanto puede decirse respecto á los puentes de hierro, en los que la disposicion de los andamios depende de la de las cimbras, en cuya descripcion entraremos más adelante, siendo los primeros en muchos casos verdaderos puentes provisionales de madera.

180. **Andamios móviles.**—Pueden ser de varias clases y de-

ben llenar la condicion de la sencillez y ligereza, conservando la resistencia necesaria. En muchos casos reemplazan á los andamios fijos, siendo por lo regular de construccion más rápida y económica que éstos. Generalmente se los clasifica en andamios volantes, colgados, corredizos y giratorios.

181. **Andamios volantes.**—Reciben este nombre los que están formados de modo que se puedan desmontar en todo ó en parte para irlos cambiando de sitio á medida que adelanta la obra en que se emplean. Se componen por lo regular de tres cerchas, compuesta cada una de varias piezas de madera unidas entre sí en un plano vertical y convenientemente sostenida, como aparece en la fig. 254. La posicion de estas cerchas, cuya forma varía con la de la obra, se consolida por medio de piezas horizontales *aa*, que van de una á otra y sirven al propio tiempo de apoyo á los tablones que forman el piso provisional para los operarios.

El andamio representado en la figura se empleó en la restauracion interior de la cúpula de San Pedro, en Roma, en 1773, y se componia de tres cerchas colocadas segun los meridianos de la cúpula, sujetas por fuertes anillas de hierro á escarpias empotradas en la fábrica de la obra y reforzado el conjunto con los jabalcones inferiores *m*. Para hacer adelantar el andamio se desmontaba la cercha de un lado y se la montaba en el opuesto, apoyándose para esta operacion en las otras dos, que permanecian fijas, las que á su vez se iban cambiando en las operaciones sucesivas. La fig. 255 hace ver otro andamio del mismo sistema empleado en una bóveda en cañon, en el que las cerchas son paralelas y se componen de las tres piezas verticales *a,b,c*, sostenidas por escarpias empotradas en la bóveda y otras *e,f* apoyadas en la cornisa, las cuales sostienen las piezas horizontales del piso.

Estos andamios se emplean poco á causa de la mano de obra que exige su construccion y el tiempo que se invierte en los cambios de posicion; así es que solo se suelen usar en las reparaciones y demás trabajos análogos en las bóvedas cilíndricas y esféricas.

Un sencillo andamio de esta especie que tiene muy útil empleo al edificar los muros de hormigon, es el representado en seccion en la fig. 161. Consiste en varias palomillas de madera

mm que se sujetan fuertemente á la parte ya construida por medio de los conos de madera y pasadores de que se habló en el número 133, las cuales distan entre sí unos 2 metros. Sobre estas palomillas, que suelen colocarse á ambos lados del muro, se tienden los tablones *tt*, que forman el piso provisional. Cuando despues de construida una tongada se quiere subir el andamio, se empieza por quitar los tablones, y despues de sacar los pasadores y los tacos, se los vuelve á colocar sujetando las palomillas en la hilada superior.

La seguridad de los operarios y la facilidad del trasporte son las cualidades distintivas de este andamio, que además presenta muchas ventajas en las construcciones en que se ha empleado.

182. **Andamios colgados.**—Su forma y disposicion varía mucho segun sea el objeto á que se destinan, y su empleo más frecuente es tambien en las reparaciones, refinos, pinturas y demás trabajos que se verifican despues de hechas las obras.

En la fig. 256 aparece en perfil un andamio que se puede emplear para trabajos ligeros que se hayan de ejecutar en el cornisamento de un edificio, componiéndose de una pieza vertical *a* y de la inclinada *b*, unidas entre sí hácia su centro: por la parte inferior se fijan á la pieza *c* que hace de puente, y por la superior á la *d*, que se apoya en la cornisa y se sujeta á ella por medio de un tornillo. A corta distancia hay otras piezas iguales que se ligan á las primeras por medio de listones, formando una escala vertical, y sobre los puentes se tienden los tablones del piso.

Otro andamio colgado, que tambien se emplea en los edificios, es el que se representa en la fig. 257, y consiste en fuertes piezas de madera *aa*, puestas horizontalmente en los balcones y ventanas, las cuales se impide que basculen hácia afuera poniendo en el interior un taco *b* en el suelo y apretando con un poste vertical *c* que se apoya en el techo por su extremo superior. La parte exterior de las piezas *a*, que reemplazan á los puentes, sirven de apoyo á los tablones del piso, y en caso necesario pueden sostener los espárragos *d*, cuyos piés se refuerzan á veces con yeso, como se haria en el suelo.

El andamio de la fig. 258, notable por su ligereza y usado en reparaciones de poca importancia, se compone de dos puen-

tes paralelos, á los extremos de cada cual se atan los de una cuerda *abc*. Esta se anuda en su punto medio, de donde se cuelga á la polea *b* y á la cuerda *bd*, que se fija por un extremo á un madero saliente puesto en la parte superior de la obra ó de otra manera cualquiera: el otro extremo pasa por una polea fija al madero, del cual se tira desde la parte superior para subir ó bajar el andamio, ó bien vuelve al alcance de los operarios que le montan, que entonces pueden por sí mismos elevarse ó descender segun sea necesario.

Por último, se puede reducir el andamio colgado á una cuerda con nudos que se fija en la parte superior del muro, y á la que se suspende el operario que va sentado en una banqueta de madera provista á cada lado de un tirante, los cuales se sujetan á la cuerda por medio de corchetes de hierro. Además hay dos correas, tambien con corchetes, que sujetan al operario por debajo de las rodillas y se unen á la cuerda. Esta cuádruple union deja libres los brazos del obrero, que puede subir ó bajar uno despues de otro los cuatro corchetes sin gran fatiga.

183. **Andamios corredizos.**—Se usan con frecuencia estos andamios porque reunen á la sencillez y economía de su construccion la facilidad de trasportarse de un punto á otro sin necesidad de desmostarlos, como sucede con los volantes. Generalmente se componen de dos cerchas perfectamente ligadas entre sí y montadas en ruedas, rodillos ó patines, que puedan facilmente rodar ó resbalar sobre carriles ó canales que se fijan en la obra.

Las figs. 259 y 260 hacen ver en proyeccion y seccion verticales el gran andamio empleado en 1773 en la restauracion de la nave central de San Pedro de Roma, el cual estaba compuesto de dos cerchas *aa'*, *bb'* unidas por piezas horizontales *c*, sobre las que se colocaban los puentes *dd*, que sostenian el piso. Sobre la cornisa de la nave se montó un andamio volante *efg*, sujeto al muro con flejes de hierro empotrados en la fábrica y reforzado con jabalcones que se apoyaban en el arquitrabe *h* de la obra. El andamio no estaba sostenido por ruedas ni rodillos, sino por 8 patines redondeados que resbalaban sobre los tablones de los dos andamios volantes, y se le hacia correr sujetando á puntos fijos en la cornisa los polipastos y cuerdas de que tiraban los operarios simultáneamente por ambos lados de la bóveda, como se ve en la fig. 260.

Para los trabajos interiores de la bóveda de una capilla en Turin, se ha empleado el andamio que representan en proyeccion horizontal y vertical las figs. 261 y 262, el cual estaba sostenido por cuatro ruedecillas que facilitaban su movimiento á lo largo de la capilla.

Un ejemplo de andamio corredizo digno de exámen es el empleado en la construccion del Palacio de la Exposicion de París en 1867, que aparece en las figs. 263 y 264. Consta de dos partes de distinta forma, aunque constituyendo un solo todo: una es la *abcd*, y lo restante superior la otra. Ambas están formadas por montantes verticales *gg*, cuya posicion se consolida con piezas horizontales *ff* y otras inclinadas, ligándose el pié de los primeros por piezas horizontales que forman bastidores. Debajo de éstos hay 16 rodillos *rr*, dispuestos como se ve en mayor escala en las figs. 265 y 266 (lám. 11) los cuales insisten sobre 8 filas de carriles y se los da movimiento por medio de una palanca *pp*, cuyo detalle se indica en la fig. 267.

La construccion se llevó á cabo empezando por levantar y poner verticales simultáneamente los dos montantes de hierro de uno y otro lado *hh* (figs. 263 y 264), que formaban los apoyos de la nave, para lo cual se los ataba con la cuerda *i*, que pasando por la polea *k* se arrollaba en los tornos *m*. Despues se montaba el arco que los unia, á cuyo fin presentaba el andamio en la parte superior un piso poligonal *bnc*, y por último se subian las piezas longitudinales de enlace por medio de dos gruas horizontales *ss* que podian moverse sobre carriles colocados en un piso situado á mayor altura que el resto del andamio y en su parte anterior. Para contrarestar el desequilibrio que la gran longitud del brazo de estas gruas ocasionaria al subir un peso, se colocaba al otro lado un contrapeso *t* y cuerdas sujetas al suelo. La subida se verificaba por medio de un torno especial colocado encima de cada uno de los carretones de estas gruas, como se verá más adelante.

Una vez levantada una parte de la construccion, se continuaban los trabajos corriendo el andamio como se ha dicho.

184. **Andamios giratorios.**—Esta especie de andamios solo tiene aplicacion justificada en los trabajos accesorios que se verifican en bóvedas de revolucion. En general consisten en dos cerchas, segun la meridiana de la superficie, perfectamente li-

gadas entre sí, sustentadas por su extremo inferior en ruedecillas que se apoyan y pueden recorrer la cornisa de la obra, y girando por el superior al rededor del eje vertical de la bóveda.

El ejemplo más notable de estos andamios es el que se construyó en 1756 para la restauracion de la cúpula del Panteon, en Roma, representado en las figs. 268 á 271. Estaba compuesto de dos cerchas *aa'*, *bb'*, segun se ve en dos proyecciones verticales y una horizontal en las figs. 268, 271 y 270, formada cada una de dos arcos ligados por varillas de hierro sujetas con pernos y por piezas de madera. Ambas cerchas se unian entre sí con otras piezas de madera horizontales *cc*, por la parte interior y exterior, las cuales se colocaban á alturas convenientes para que sobre ellas se apoyaran los puentes de los pisos. Este conjunto se hacia invariable reforzándole con otras varillas de hierro como las anteriores, que enlazaban los arcos interiores formando cruces de San Andrés, las cuales servian al mismo tiempo de barandilla para resguardar á los operarios. La fig. 272 es una seccion trasversal del andamio segun la línea *xy* de la 268.

Las dos cerchas se reunian en su extremo superior por medio de pasadores á una parte plana *fg*, formada por dos piezas de madera (figs. 268 y 270) que dejaban en su zona central una abertura cilíndrica por la cual pasaba el eje vertical, como se verá á continuacion. Por la parte inferior terminaba cada cercha en fuertes piezas sujetas con pasadores, llevando una ruedecilla.

Veamos ahora cómo se fijaba de una manera invariable el eje vertical de rotacion. Sobre la linterna de la bóveda se colocaron 8 piezas de madera *mm*, (figs. 268 y 269), y los dos maderos *nn*, encima de los que se situaron las dos vigas *pp* sujetas con pernos á las anteriores. En el plano vertical de cada viga, y por la parte inferior, se ensamblaron una pieza vertical, llamada *pendolon* que se proyecta verticalmente segun *q*, y las dos inclinadas *rr'* reforzando estas tres piezas con un cepo horizontal *rr'*. Otro fuerte cepo horizontal *ss* cruza por debajo á los anteriores y sujeta á los dos pendolones y á otra pieza intermedia vertical tambien, que es el eje de rotacion, situado exactamente en el eje de la linterna: para fijar la posicion de este eje, se colocó y sujetó con pernos encima de las vigas *pp* otro

cepo paralelo al inferior *ss*. A fin de no debilitar el eje no se le hizo en estas uniones ningun rebajo, y se impidió su movimiento vertical uniéndole con pasadores dos fuertes tacos *tt*.

Con objeto de hacer completamente invariable la posicion de este eje se reforzó además con 8 piezas horizontales *vv*, en posicion radial, las cuales se apoyaban por un extremo en el mismo eje, á cuyo fin tenia la seccion octogonal en una pequeña altura, y por el otro insistian en la superficie interior de la linterna. Por otras piezas *z* formando octógono se fijaba la direccion de estos rádios, que se unian por el extremo interior al cepo *ss*, por medio de pasadores, y por el exterior se sostenian con cepos verticales *s'*, *s'*, sostenidos por las piezas *m*. El eje de rotacion tenia la forma cilíndrica en la zona que le cogia la parte plana *fg* de las cerchas y se mantenia el conjunto en posicion por medio de una gran rodaja *m'm'* sostenida por cuatro tacos ó egiones sujetos al eje con pernos y embarbillado.

Además de los pisos indicados anteriormente, se estableció otro al pié del andamio para subir los materiales, formado por dos viguetas *n'* apoyadas por un extremo en una pieza horizontal y sostenidas por el opuesto con dos barrotes *p'*. Los diversos pisos del andamio se ponian en comunicacion por medio de escalas de mano, que no se han representado, y se le daba movimiento segun se indica en la fig. 271.

Otro andamio giratorio que puede tener buena aplicacion en las cúpulas de dimensienes regulares, es el representado en la fig. 273. Consta de un arbol *ac* apoyado en el suelo ó á cierta altura por medio de piezas auxiliares, que tiene en su pié un pivote de hierro y se sujeta por su extremo superior, que es cilíndrico, con un collar de hierro, fijo por medio de varias piezas de madera en el centro de la linterna. Hácia la altura del arranque de la bóveda se fija al árbol y gira con él un piso pequeño *b'd'*, al cual van unidos dos bastidores iguales y paralelos *bb'* y *dd'*, cuya proyeccion horizontal aparece en la figura 274. Estos bastidores, que pueden girar al rededor de sus puntos extremos inferiores, sostienen de la misma manera el piso *bd*. Por medio de una cuerda *df*, fija á un bastidor y pasando por una polea unida al árbol se mueve el piso superior segun una meridiana, pudiéndose cambiar ésta haciendo girar al árbol.

185. **Demolicion de los andamios.**—Esta operacion se verifica de diversas maneras, segun sea la naturaleza del andamio de que se trate; pero por regla general puede decirse que tiene lugar en sentido inverso á como se han levantado, esto es, que se empieza por quitar las piezas superiores, á medida que no vayan haciendo falta. Continuando de este modo, segun se va concluyendo el refino ó terminacion de la obra, se llega hasta la superficie del suelo, quedando la obra concluida y libre de las construcciones auxiliares que han servido para levantarla.

Los andamios fijos y de albañil se suelen desmontar pieza á pieza; pero en los móviles se adoptan marchas diversas, segun sea su disposicion. Unas veces se van separando las cerchas de que se componen y otras se quitan primero las partes colgadas que puedan tener, y despues se hace otro tanto con las demás, segun se acaba de indicar.

De todos modos, debe cuidarse en esta operacion de no dar lugar á choques entre los materiales que se bajan y la construccion, para lo cual se guia á los primeros, si es necesario, por medio de cuerdas.

ARTÍCULO V.

Aparatos para subir los materiales.

186. **Generalidades.**—Con objeto de poner los materiales á las diversas alturas en que se encuentran las obras durante su construccion, se hace uso de aparatos numerosos y de formas muy variadas, que no es posible ni aun indicar aquí, pero bastará dar á conocer los más empleados y de más útil aplicacion. Algunos solo elevan verticalmente los materiales, como sucede á los tornos, y al llegar á la altura necesaria se establece en el andamio ó castillejo de la construccion un piso hasta la hilada que se está levantando, conduciéndose sobre aquel y ésta por medio de rodillos los materiales muy pesados. Otros, como las gruas fijas, dan á los materiales, á más del movimiento vertical, otro que permite colocarlos desde luego sobre ciertas zonas de la hilada que se levanta, y por último, si se hace que la grua se mueva paralelamente á la obra que se construye, podrá pre-

sentarlos desde luego en los mismos puntos en que se hayan de colocar.

Dado el objeto de los andamios, se comprende que se podrán reducir su importancia y coste cuando se usen para subir los materiales aparatos que no se hayan de apoyar en ellos, y si á esto se une la economía de tiempo que por su medio se obtiene en la ejecucion de las obras, es fácil ver la razon de su empleo en las grandes construcciones.

187. **Tornos.**—Nada diremos de los tornos ordinarios, por ser bien conocidos de todos y haber hablado de ellos en el número 67. Los de engranaje (fig. 275) constan de dos bastidores verticales y paralelos de fundicion *aa'*, en forma de A, sujetos por la parte inferior á otro bastidor rectangular del mismo metal ó de madera y enlazados superiormente por la varilla *bb*. Los bastidores verticales sostienen los ejes del tambor *cc*, con el que forma cuerpo una rueda de engranaje, en la que engrana el piñon *d*: el eje de éste lleva en sus extremos las cigüeñas *ff*. Además, y con objeto de impedir el movimiento de retroceso y la caida del material que se sube si los operarios soltaran las cigüeñas, ó por cualquier otra causa, va unida á la varilla *bb* por medio de un ojo, una uña que permite el movimiento del piñon en un sentido, y le impide en el contrario. Por último, se puede detener en un punto cualquiera el movimiento del aparato, haciendo uso de un freno (fig. 276), que consiste en una chapa de palastro en forma de cinta, que rodea al tambor: uno de sus extremos está invariablemente unido á uno de los bastidores verticales, y el otro se mueve por medio de la palanca *g*, apretando ó no al tambor, segun sea el sentido del movimiento.

Los tornos pueden situarse en la parte superior de los castillejos, y entonces la cuerda que se arrolla á su tambor baja verticalmente á coger los materiales, ó mejor se pueden colocar en el pié de los mismos, en cuyo caso se establece en la parte alta una polea ó polipasto para el paso de la cuerda, sin necesidad de cargar con el peso del torno al andamio ni de dificultar el paso de los trabajadores.

Desde hace poco tiempo se ha perfeccionado extraordinariamente la construccion de los tornos, dando lugar á numerosas disposiciones y recibiendo nombres muy variados, de los que el

más general es el de *tornos de nuez*. La parte esencial de su mecanismo se compone de las cigüeñas ó manivelas *aa* (figuras 277 y 278), en cuyo eje van dos piñones *b* y *d*, de los que uno tiene 14 dientes y 8 el otro y pueden engranar á voluntad con las ruedas *c* ó *e*, que á su vez tienen 73 y 78. La rueda *c* lleva unido á la parte dentada y concéntrico con la misma un cilindro sobre el que actúa como freno la cinta de palastro *f*. Sobre el mismo eje de las ruedas dentadas existe la nuez *h* de hierro, á la que vienen á adherirse los eslabones de la cadena, como aparece en corte y en escala doble en la fig. 279; de modo que la cadena se encuentra movida por la nuez sin necesidad de arrollarse á ésta, pero teniendo siempre en contacto con la misma tres eslabones á lo ménos. Además existen montadas en el eje de los piñones y formando cuerpo con el mismo dos ruedas catalinas ó de seguridad *m* en posicion inversa, puesto que el aparato puede moverse en dos sentidos, con las dos uñas *nn*, de las que se levanta la que convenga que no actúe por medio de los ganchos *p*; y por último, contiene la palanca *qq* para que pueda engranar con su rueda respectiva el piñon *b* ó *d* y el contrapeso *r*.

En estos tornos se emplea de ordinario una cadena sin fin, que á veces se hace pasar por dos nueces para dar más seguridad á su movimiento, la cual pasa además por una polea fija en la parte alta de un castillejo: el peso se cuelga de un gancho que lleva la misma cadena. Este mecanismo, cuya altura es de unos dos metros, se fija en el pié del castillejo, sujetándole á dos travesaños, y proporciona gran seguridad en la elevacion de los materiales. Muchas modificaciones se han introducido en los detalles de estos tornos, que han recibido nombres diversos; pero todos constan como parte esencial del mecanismo que se ha descrito.

188. **Cábrias.**—La forma que se da á este aparato en las construcciones, es la que aparece en las figs. 280 y 281, tal como se emplea en la América del Norte para subir las tablas ó placas de piedra con que se revisten las fachadas de muchos edificios. Consta de dos fuertes piezas de madera algo inclinadas, que por medio de dos travesaños sostienen otra en su parte superior. Las primeras se apoyan en un bastidor con piso sostenido por cuatro ruedas que permiten el movimiento de la cábria pa-

ralelamente á la fachada, y además lleva un torno de engranaje. La superior tiene en su extremo una polea fija, á 20^m de altura, y se sostiene por medio de dos cuerdas ó vientos sujetos á estacas clavadas en el suelo. Las piedras se cojen con un aparato especial de que nos ocuparemos más adelante.

189. **Pescantes.**—Se compone el pescante de una viga ó de varias convenientemente ensambladas y en posicion vertical que alcancen 1 ó 2^m más de elevacion que la obra que se trata de edificar (fig. 282). En su pié tiene un eje ó pivote que puede girar sobre un tejuelo empotrado sólidamente en el suelo, y la parte superior entra en un collar cuya posicion se fija por medio de vientos ó cuerdas. Como á $1^m,50$ de la extremidad superior se coloca un cepo *a*, reforzado con pernos y jabalcones, comprendiendo en sus extremos las poleas *b* y *c*, por las que y la *d*, establecida en una caja abierta en el mismo árbol, pasa la cuerda, que por un extremo coje el material y por el otro se arrolla al tambor de un torno de engranaje sujeto al pié del árbol. Además, hay varios listones de madera ó de hierro unidos á este árbol que sirven de escala cuando sea necesario.

Este aparato gira al rededor del eje del árbol, actuando convenientemente á brazo en su parte inferior cuando los materiales han llegado á la altura en que deben colocarse, y los deposita sobre la obra ó el andamio establecido para su construccion.

Un pescante perfeccionado que se emplea mucho en los Estados Unidos de América, es el representado en proyeccion vertical en la fig. 283 y en la horizontal en la 284. El cepo *ab* está sostenido por varillas ó cuerdas que se unen á la cabeza del árbol, y éste se refuerza por medio de dos cuerdas de alambre *cd*, que pasando por sus extremos se apoyan en el del cepo. Este comprende tres poleas fijas *e*, *f*, *g* y la móvil *h*, de la que se suspende el peso, la cual lleva á los lados dos ruedas que pueden correr sobre dos carriles fijos al cepo. La cuerda de que pende el material pasa por las poleas *h* y *e* y despues por otra *i* sujeta al pié del árbol, para arrollarse á poca distancia á un torno de engranaje que no aparece en la figura, y hay otra que se une á la polea móvil y despues de pasar por las *g*, *f* y la *k*, tambien sujeta al pié de aparato, termina en otro torno. Segun sea el movimiento que se dé á estos tornos, se puede conseguir que el peso suba ó baje verticalmente y que la polea móvil ade-

lante ó retroceda sobre el cepo. Tambien se le puede dar á brazo el movimiento al rededor del eje del árbol, porque, como en el caso anterior, éste se apoya en un tejuelo y está sostenido superiormente por un collar y vientos.

Los pescantes son aparatos ligeros, sencillos y baratos, tanto en su construccion como en su manejo, y en muchos casos reemplazan con ventaja á otras máquinas pesadas y costosas.

190. **Gruas.**—Las gruas se componen en su parte esencial de un árbol y de una pieza inclinada *ab* (figs. 285 á 288, lámina 12) llamada *brazo*, que puede formar con la primera un ángulo constante ó variable. Aunque este aparato afecta formas muy diversas, solo nos ocuparemos aquí de las que más se emplean en la construccion.

La representada en las figs. 285 y 286 tiene el árbol apoyado en un tejuelo y sostenido superiormente por un collar que se une á tres piezas de madera *c*, *d*, *e*. El brazo *ab* se une por su pié á una pieza de hierro fija al árbol de modo que pueda girar, formando con éste un ángulo más ó ménos grande, y se da el movimiento por medio de una cadena que despues de pasar por los dos polipastos *f*, *g*, baja contigua al árbol pasando por la polea *h* para terminar en un torno. Otro polipasto *i* fijo al extremo del brazo, sostiene el peso que se trata de subir, siguiendo luego la cadena hasta entrar en el árbol por su parte inferior, que está hueca, y por medio de dos poleas *k* y *m* atraviesa el pivote y el tejuelo para terminar en un torno que suele estar movido por el vapor. Esta grua se ha usado en América para cargar las piedras en las canteras.

La que aparece en las figs. 287 y 288, de brazo fijo, y que en rigor no es más que la parte superior de un pescante, se ha empleado en los trabajos de ensanche del Capitolio de Washington y en otras obras importantes. El brazo se fija al pié del árbol por medio de una caja de hierro sujeta con pasadores, y estas dos piezas se unen por sus otros extremos con la varilla *bc*, de 25 milímetros de diámetro, formando un triángulo próximamente equilátero de 15^m de lado. La escuadría del árbol es de $0,^m325 \times 0,^m325$, y la del brazo $0,^m25 \times 0,^m25$, sosteniéndose con cuerdas de alambre la cabeza del primero. Hay cuatro polipastos *d*, *e*, *f*, *g*, y dos poleas fijas *h*, *i*, teniendo todos $0,^m325$ de diámetro; los polipastos *d*,*e* están unidos por una

cadena corta de la que pende el peso. Al torno *m* viene á terminar una cuerda despues de pasar dos veces por los polipastos *e*, *g*, y al *n* se arrolla la otra habiendo recorrido las poleas *h*, *i* y dos veces los polipastos *d*, *f*.

Segun se dé á los tornos la misma ó distinta velocidad, el peso subirá verticalmente ó se moverá en direccion oblícua en el plano formado por el árbol y el brazo. De ordinario se hacia girar el árbol á brazo; pero se podia emplear con este objeto el vapor con que se movian los tornos.

Las gruas descritas están fijas en ciertos puntos y sostenidas á la altura conveniente por medio de castillejos; de modo que si la obra en que se emplean presenta una extension algo considerable, es preciso aumentar mucho el número de estos aparatos, ó de lo contrario hay que verificar un trasporte, por lo general largo y penoso, desde el punto en que la grua deja el material hasta aquel en que se haya de colocar. Con el fin de evitar estos inconvenientes se han construido gruas que, apoyándose en el suelo y pudiendo moverse paralelamente al contorno de la obra, eleven los materiales á la altura conveniente y los coloquen desde luego en el sitio que deban quedar.

El ejemplo que aparece en las figs. 289 á 291, hace ver la disposicion de estos aparatos en su parte principal. Consta de dos montantes verticales *a*, *a'* apoyados en un fuerte bastidor y reforzados con piezas inclinadas y horizontales. En la parte superior de los primeros puede girar en un plano vertical la pieza *bc* sostenida en su zona central por un eje de hierro y reforzada por la parte superior con una cuerda de alambre *def* bien tensa: el bastidor antedicho insiste sobre cuatro ruedas apoyadas en carriles paralelos á la fachada de la obra. La cadena que sostiene el peso pasa por las dos poleas fijas *g*, *h* y se arrolla en el torno *m*, y desde el punto *i* parte una cuerda que despues de apoyarse en las poleas *p*, *q* va á parar al torno *n*, por cuyo medio se da al brazo móvil la inclinacion conveniente. Estos tornos son susceptibles de moverse á brazo ó por medio de una máquina de vapor, como aparece en la figura, la cual puede tambien, cuando sea necesario, mover el aparato sobre los carriles, á cuyo fin hay trasmisiones hasta las ruedas, como se indica en la figura 291.

Las gruas móviles son en general costosas en su construc-

cion; pero su empleo proporciona una notable economía de tiempo y dinero en la ejecucion de las obras, siendo su uso ventajoso en las edificaciones de importancia.

Tambien se da la denominacion de *gruas con doble movimiento* á un torno montado sobre cuatro ruedas que recorren, segun se ve en la fig. 292 en proyeccion horizontal, dos carriles *a*, *a'* apoyados en los largueros del bastidor *bcde*. Éste á su vez insiste en otras cuatro ruedas que marchan á lo largo de otros dos carriles *f*, *f'* sostenidos por carreras, las cuales coronan los andamios en cuyo intervalo se encuentra la construccion que se trata de levantar. Por este medio se sube el peso hasta la altura conveniente, y por el movimiento del torno sobre el bastidor y de éste sobre los andamios, se puede colocar aquel justamente en el punto que haya de ocupar. El torno tiene además un piso á su alrededor sobre el que están los operarios.

Por último, en ciertas construcciones aisladas, como por ejemplo, los faros, se han empleado gruas móviles (fig. 293) cuyo árbol bajaba hasta cierta profundidad, consolidando su posicion por medio de piezas auxiliares. Cuando era necesario se hacia elevar el aparato aplicando gatos convenientemente dispuestos sobre el eje, hasta que tomaba la suficiente altura para poder proseguir los trabajos, una vez sujeto en su nueva posicion.

191. **Embragado.**—Recibe este nombre la operacion que tiene por objeto ligar ó atar los materiales que se han de subir, de tal modo, que unidos despues á la cuerda del aparato elevatorio no se desprendan ni se deterioren.

Cuando los materiales tienen poco peso ó volúmen, como mampuestos, ladrillos, morteros, etc., se hace uso de cestas, espuertas ó cubos, por cuyo medio se los suspende de la cuerda destinada á subirlos. Si son sillares, sobre todo teniendo grandes dimensiones, se los rodea á lo ancho con una fuerte cuerda de cáñamo sin fin *A* (fig. 282) ó con una cadena, cuidando de preservar las aristas labradas en los puntos en que las toca la cuerda ó cadena, interponiendo con este fin paja ó esteras. Por el punto de cruzamiento *p* se coge el peso con uno ó dos ganchos en que termina la cuerda del aparato, y se guia durante su elevacion con uno ó dos cordeles atados á los ganchos, que sujetan desde el suelo los operarios.

Otras veces se practica en el centro del sobrelecho del sillar una caja en forma de cola de milano (fig. 294) en la que se introducen las tres piezas de hierro que por separado aparecen en la fig. 295, sujetas con el estribo *a* y el pasador *b*. El empleo de este aparato, que recibe el nombre de *diablo*, exige la apertura de la caja y no proporciona completa seguridad durante la subida, razones por las que no es muy recomendable. En el dia se hace uso con el mismo objeto y de una manera ventajosa de una fuerte pieza de hierro *a'b'c'd'* (fig. 283) que en el extremo *d'* presenta una tuerca por la que pasa un tornillo, y apretándole sobre la piedra hace que tambien la sujete el extremo *a'*: además lleva una cadena que se suspende á la cuerda que forma parte del aparato elevatorio. Tambien se hace uso, con el mismo objeto, de unas tenazas como las representadas en la fig. 296.

192. **Trasporte de grandes monolitos.**—En algunas ocasiones hay necesidad de trasportar piedras de tan grandes dimensiones que no es posible adoptar los aparatos que se acaban de describir ni hacer uso de los medios ordinarios de que se habló en la primera parte, teniéndose entonces que apelar á procedimientos especiales.

Uno de los casos más notables de esta clase de trabajos fué el trasporte á San Petersburgo de una enorme roca de granito para servir de pedestal á la célebre estátua de Pedro el Grande. Esta roca tenia 12,^{m}95 de largo, 7,^{m}90 de ancho y 7,^{m}00 de altura, pesando más de 1.500 toneladas, y era preciso llevarla á 21 kilómetros de distancia del punto en que se encontró.

Para esto se empezó por explanar una via sobre la que se colocaban paralelamente entre sí vigas aisladas *a*, *a* (figs. 297 y 298) que tenian 10 metros de longitud, 0,^{m}35 de ancho y 0,^{m}30 de alto, formando dos carriles como en las vias férreas. En la cara superior de estas vigas se formó una canal revestida con placas de bronce, de forma poligonal, á fin de disminuir los rozamientos, y segun aparece en mayor escala en la fig. 299. En esta canal se colocaban bolas ó esferas de bronce que tenian 0,^{m}12 de diámetro y distaban una de otra 0,^{m}60. Sobre estas esferas insistian los largueros, tambien acanalados, de un fuerte bastidor, teniendo aquellos 12,^{m}80 de largo, 0,^{m}45 de ancho y 0,^{m}40 de altura, los cuales estaban sujetos por cuatro travesaños de 4,^{m}25 de longitud y 0,^{m}30 de escuadría.

Sobre este bastidor se colocó la roca, que ligada con cuerdas se movía por medio de cabrestantes, fijos sólidamente al terreno, y en los cuales actuaban por secciones cierto número de militares que operaban segun las señales dadas á golpes de tambor. Cuando una seccion se cansaba la reemplazaba otra, colocándose la primera en asientos laterales colgados á la roca, lo que contribuia á su estabilidad durante la marcha.

A medida que la piedra adelantaba se iban quitando las vigas *a*, que quedaban atrás y se empalmaban sólidamente con las de la parte anterior. El bastidor estaba constantemente sostenido por 30 ó 32 bolas de bronce (a).

CAPÍTULO III.

Bóvedas.

193. **Objeto y clasificacion de las bóvedas.**—Se da en general el nombre de *bóvedas* á las construcciones que, salvando una cortadura, cubriendo el intervalo comprendido por dos ó más muros, etc., dejan siempre en su parte inferior cierto espacio sin ocupar. Este espacio libre tiene unas veces por objeto dar paso á una corriente de agua ó á una vía de comunicacion, y otras sirve para la estancia de las personas ú otros fines de índole análoga.

Prescindiendo del material empleado en su construccion, se pueden dividir las bóvedas con arreglo á la generacion geométrica de su superficie, y segun esta sea única ó múltiple, se llaman aquellas *simples* ó *compuestas*. Varias son las clases de bóvedas simples que tienen empleo frecuente en las construcciones, siendo las más principales las cilíndricas ó *de cañon seguido*, las *cónicas*, *esféricas*, *elípticas* y *anulares*, recibiendo el nombre de compuestas cuando están formadas por dos ó más de las simples antedichas, como sucede con las bóvedas *por arista*, *en rincon de cláustro*, *lunetos*, etc. Como suponemos conocidos la disposicion y despiezo de todas estas bóvedas, nada diremos acerca de este particular.

Entre las bóvedas enumeradas, las de cañon son las más

(a) Véase *Monument elevé a la gloire de Pierre-le-Grand*, par le Conte Marin de Carburi.

sencillas y las que tienen más aplicacion en las diversas clases de construcciones, pudiéndose considerar esta forma como exclusiva en los puentes, acueductos, naves de iglesias, arcos y otros muchos monumentos. Se dividen en tres grandes grupos, segun sea la naturaleza de la curva de seccion recta, llamándose *peraltadas* cuando la flecha de ésta sea mayor que la mitad de la *luz* ó abertura horizontal; *rebajadas* cuando sea menor, y *de medio punto* en el caso de ser iguales. Las principales entre las peraltadas pueden tener por directriz un arco de círculo mayor que media circunferencia (fig. 300) que caracteriza las construcciones moriscas, ó dos arcos que se cortan formando un ángulo más ó ménos grande (fig. 301), que distingue á las ogivales, ó bien una semi-elipse cuyo eje vertical sea mayor que el horizontal. La directriz de las rebajadas es unas veces un arco de círculo menor de 180° (fig. 302), en cuyo caso recibe la bóveda el nombre de *escarzana*; de *elíptica*, si es una semi-elipse en que el eje menor sea vertical; *carpanel* (fig. 303), cuando la directriz se forma de varios arcos de círculo tangentes entre sí y de diversos rádios, cuyas tangentes en los puntos *a* y *b* son verticales y en el *c* es horizontal: el límite de estas bóvedas tiene lugar cuando la flecha se reduce á cero, y entonces reciben el nombre de *bóvedas planas* (fig. 304). Por último, las bóvedas de medio punto solo presentan el caso en que la directriz sea un semicírculo (fig. 305).

194. **Noticias históricas.**—Es tan antigua la construccion de las bóvedas para cubrir un cierto espacio, que en alguna de las pirámides de Egipto se ha encontrado la capacidad interior que todas contienen, cuyo objeto era encerrar el sarcófago en que estaban los restos de algun Rey, cubierta con una bóveda en cañon, perfectamente concebida y ejecutada, que forma un arco de círculo de 3^{m},35 de luz, y 1^{m},55 de rádio. Se compone de cuatro capas de piedra sobrepuestas, estando las juntas de cada una acuñadas por la parte externa con ripios y recubierta con mortero fluido, como pudiera ejecutarse en el dia.

La antigüedad de este ejemplo, entre otros que podrian citarse, y que se remonta hasta la época de Amunoph I, ó sea 1540 años antes de nuesfra era, es una prueba patente del conocimiento que tenian los egipcios de este gran elemento de construccion. Por otra parte, se han encontrado bóvedas de la-

drillo en los recientes descubrimientos verificados en Nínive y otros puntos de la Asiria, lo que confirma más aún la remota antigüedad de estas construcciones, que únicamente conservaron y extendieron los etruscos.

Desde la época de los Reyes de Roma se empleó la bóveda para el desagüe y saneamiento de la ciudad, construyendo la cloaca Máxima, de más de 4^m de ancha por $9^m,50$ de altura, formada por tres capas de dovelas sobrepuestas, en forma semicircular. Posteriormente aplicaron los Romanos el arco y la bóveda á la construccion de magníficos templos y á los puentes y acueductos, cuyos restos nos causan admiracion y nos sirven de enseñanza.

En la Edad Media y en el Renacimiento fué limitado el empleo de las bóvedas, á no ser en las construcciones religiosas; pero en el dia se ha extendido su aplicacion de una manera extraordinaria, alcanzando dimensiones colosales, gracias á los materiales empleados y á la facilidad en los procedimientos de jecucion.

ARTÍCULO I.

Preliminares.

195. **Denominaciones principales.**—El paramento interior ó visto de las bóvedas, ya sean simples ó compuestas, recibe el nombre de *intradós* y el opuesto de *trasdós*. El número de hiladas que entran en su formacion es por punto general impar, y se conocen con nombres particulares, segun sea la posicion que ocupen. Las de *salmer* son las más bajas que insisten sobre los muros ó apoyos de la bóveda, y la más alta y la contigua de cada lado se llaman respectivamente de *clave* y *contraclaves*.

Las líneas ó superficies de *arranque* son las líneas ó superficies de hilada que sirven de separacion á la bóveda y sus apoyos, dándose el nombre de riñones á las zonas laterales cuyos rádios forman con la horizontal un ángulo de 45° próximamente: en las bóvedas escarzonas pueden llegarse á confundir los riñones con los arranques.

La relacion entre la flecha y la mitad de la luz, medidas en la seccion recta de la bóveda, constituye como hemos dicho, el *rebajo* ó *peralte* de la misma, siendo en el primer caso menor

que la unidad y mayor en el segundo: asi se dice que una bóveda está rebajada al $^1/_3$, al $^1/_4$... segun que dicha relacion sea igual á $^1/_3$, $^1/_4$...

196. **Trazado de los arcos de las bóvedas.**—Estas construcciones exigen que se tenga un conocimiento exacto, no solo de la forma de la directriz, sino de su longitud rectificada para distribuir convenienmente el grueso y posicion de las hiladas y establecer la construccion auxiliar, llamada *cimbra*, que sirve para sostener la bóveda durante su ejecucion y de cuyo exámen nos ocuparemos más adelante.

Cuando la bóveda es de medio punto nada hay que decir de nuevo acerca de este particular; pero si es escarzana solo se fija de ordinario su luz y flecha, de las que se deducen los demás elementos. Asi es que si llamamos *m* la flecha *ab* (fig. 302), *l* la semiluz *bc*, *r* el rádio del arco *cad* y α el ángulo *aoc*, se tendrá desde luego

$$r = \frac{l^2+m^2}{2\,m}; \ \text{sen. } \alpha = \frac{l}{r}.$$

La relacion de la flecha á la luz de las bóvedas escarzanas es muy variable y en las aplicaciones oscila entre $^1/_{13}$ y $^1/_5$, correspondiendo próximamente á $2\alpha = 30°$ y $2\alpha = 90°$; pero en el dia se adoptan valores comprendidos entre 50° y 70°, siendo preferido el de $2\alpha = 60°$. En este último caso se simplifican las fórmulas anteriores, convirtiéndose en

$$r = 2l; \ m = r\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = r \times 0,134$$

y el arco *cad* de intradós tendrá por longitud $\frac{\varpi}{3}\, r = r \times 1{,}047$.

El siguiente cuadro, tomado del *Cours de construction, par Sganzin*, da para valores determinados de la relacion $\frac{m}{2\,l}$ los números correspondientes *A*, por los que es preciso multiplicar la luz $2\,l$ para obtener la longitud del arco de intradós.

Relacion $\frac{m}{2l}$	VALORES de *A*.	Relacion $\frac{m}{2l}$	VALORES de *A*.	Relacion $\frac{m}{2l}$	VALORES de *A*.	Relacion $\frac{m}{2l}$	VALORES de *A*.
0,100	1,02645	0,151	1,05973	0,201	1,10447	0,251	1,16033
0,101	1,02698	0,152	1,06051	0,202	1,10548	0,252	1,16157
0,102	1,02752	0,153	1,06130	0,203	1,10650	0,253	1,16279
0,103	1,02806	0,154	1,06209	0,204	1,10752	0,254	1,16402
0,104	1,02860	0,155	1,06288	0,205	1,10855	0,255	1,16526
0,105	1,02914	0,156	1,06368	0,206	1,10958	0,256	1,16649
0,106	1,02970	0,157	1,06449	0,207	1,11062	0,257	1,16774
0,107	1,03026	0,158	1,06530	0,208	1,11165	0,258	1,16899
0,108	1,03082	0,159	1,06611	0,209	1,11269	0,259	1,17024
0,109	1,03139	0,160	1,06693	0,210	1,11374	0,260	1,17150
0,110	1,03196	0,161	1,06775	0,211	1,11479	0,261	1,17275
0,111	1,03254	0,162	1,06858	0,212	1,11584	0,262	1,17401
0,112	1,03312	0,163	1,06941	0,213	1,11692	0,263	1,17527
0,113	1,03371	0,164	1,07025	0,214	1,11796	0,264	1,17655
0,114	1,03430	0,165	1,07109	0,215	1,11904	0,265	1,17784
0,115	1,03490	0,166	1,07194	0,216	1,12011	0,266	1,17912
0,116	1,03551	0,167	1,07279	0,217	1,12118	0,267	1,18040
0,117	1,03611	0,168	1,07365	0,218	1,12225	0,268	1,18162
0,118	1,03672	0,169	1,07451	0,219	1,12334	0,269	1,18294
0,119	1,03734	0,170	1,07537	0,220	1,12445	0,270	1,18428
0,120	1,03797	0,171	1,07624	0,221	1,12556	0,271	1,18557
0,121	1,03860	0,172	1,07711	0,222	1,12663	0,272	1,18688
0,122	1,03923	0,173	1,07799	0,223	1,12774	0,273	1,18819
0,123	1,03987	0,174	1,07888	0,224	1,12885	0,274	1,18969
0,124	1,04051	0,175	1,07977	0,225	1,12997	0,275	1,19082
0,125	1,04116	0,176	1,08066	0,226	1,13108	0,276	1,19214
0,126	1,04181	0,177	1,08156	0,227	1,13219	0,277	1,19345
0,127	1,04247	0,178	1,08246	0,228	1,13331	0,278	1,19477
0,128	1,04313	0,179	1,08337	0,229	1,13444	0,279	1,19610
0,129	1,04380	0,180	1,08428	0,230	1,13557	0,280	1,19743
0,130	1,04447	0,181	1,08519	0,231	1,13671	0,281	1,19887
0,131	1,04515	0,182	1,08611	0,232	1,13786	0,282	1,20011
0,132	1,04584	0,183	1,08704	0,233	1,13903	0,283	1,20146
0,133	1,04652	0,184	1,08797	0,234	1,14020	0,284	1,20282
0,134	1,04722	0,185	1,08890	0,235	1,14136	0,285	1,20419
0,135	1,04792	0,186	1,08984	0,236	1,14247	0,286	1,20558
0,136	1,04862	0,187	1,09079	0,237	1,14363	0,287	1,20696
0,137	1,04932	0,188	1,09174	0,238	1,14480	0,288	1,20828
0,138	1,05003	0,189	1,09269	0,239	1,14597	0,289	1,20967
0,139	1,05075	0,190	1,09365	0,240	1,14714	0,290	1,21102
0,140	1,05147	0,191	1,09461	0,241	1,14831	0,291	1,21230
0,141	1,05220	0,192	1,09557	0,242	1,14949	0,292	1,21381
0,142	1,05293	0,193	1,09654	0,243	1,15067	0,293	1,21520
0,143	1,05367	0,194	1,09752	0,244	1,15186	0,294	1,21658
0,144	1,05441	0,195	1,09850	0,245	1,15308	0,295	1,21794
0,145	1,05516	0,196	1,09949	0,246	1,15429	0,296	1,21926
0,146	1,05591	0,197	1,10048	0,247	1,15549	0,297	1,22061
0,147	1,05667	0,198	1,10147	0,248	1,15670	0,298	1,22203
0,148	1,05743	0,199	1,10247	0,249	1,15791	0,299	1,22347
0,149	1,05819	0,200	1,10348	0,250	1,15912	0,300	1,22495
0,150	1,05896						

Si la seccion de la bóveda es una curva carpanel, se adoptan varios trazados, segun sea la relacion entre la flecha y la luz. Cuando ésta sea de $^1/_2$ á $^1/_3$, ó de $^1/_3$ á $^1/_4$, el carpanel tendrá tres ó cinco arcos ó centros para luces hasta de 10 metros, cinco ó siete para las comprendidas entre 10 y 40 metros, y siete ó nueve para luces mayores: si bien en algunos casos se han empleado hasta curvas de 11 centros, éstas difieren poco de las que solo tienen nueve.

Dadas la luz y la flecha, se obtiene el carpanel de tres centros que presenta más regularidad en la curvatura, trazando la diagonal *ac* (fig. 303) y tomando *cf*=*ad*—*cd*: tirando en el punto medio de *af* la perpendicular *go'*, ésta dará los centros *o* y *o'* de los arcos *ag* y *gc*. Tambien se sigue otro procedimiento, que consiste en trazar sobre la luz *ab* (fig. 306, lám. 13) una semicircunferencia, la cual se divide en tres partes iguales por los rádios *cd*, *cd'* y tirar las cuerdas *ad*, *df*, *fd' d'b*: desde el extremo *g* de la flecha se traza *gh* paralela á *df*, y la *ho* paralela á *cd* da los centros *o* y *o'* y los rádios *o'a* y *oh*, que tambien sirven para trazar la otra mitad de la curva.

Si fuera de cinco centros el carpanel (fig. 307) se sigue un método análogo á éste, trazando la semicircunferencia y los rádios *cd*, *ce*, *ce'* y *cd'* que la dividen en cinco partes iguales, y luego las cuerdas *ad*, *dc*, *ef*, etc. El primer rádio *ao'* se toma igual al valor consignado en el cuadro que despues se inserta, y trazando la *ho'* paralela á *cd*, se tiene el centro *o'* y el primer rádio. En seguida se trazan *hi* y *gi* paralelas respectivamente á *de* y *fe*, obteniéndose los centros *o''* y *o* por la *io* paralela á *ec*. Del mismo modo se traza la otra mitad del carpanel.

Cuando la curva sea de siete centros se traza de una manera semejante, tomando *ao'* igual al primer rádio de los que para este caso aparecen en el cuadro referido y tirando *ho'* paralela al primer rádio divisor *cd*; luego se toma *ho''* igual al segundo rádio consignado en el cuadro y se traza por *o''* una paralela al segundo rádio divisor, determinándose por fin el tercero y cuarto centro de la misma manera que el segundo y tercero del caso anterior. Semejantemente se operaria si el carpanel tuviera nueve centros, y en general para un número impar cualquiera de ellos.

Los carpaneles trazados por este sistema resultan formados

por arcos que se unen tangencialmente por sus extremos y los ángulos que comprenden son iguales entre sí é igual al cociente de 180° por el número de arcos que hayan de formar la curva. Con arreglo á estos datos se ha calculado el siguiente cuadro, que contiene los valores de los rádios necesarios para verificar el trazado, cuando se dan diversas flechas, consignándose estos valores en fracciones de la luz tomada por unidad.

CARPANEL de 5 centros.		CARPANEL DE 7 CENTROS.			CARPANEL DE 9 CENTROS.			
Flecha.	Primer rádio.	Flecha.	Primer rádio.	Segundo rádio.	Flecha.	Primer rádio.	Segundo rádio.	Tercer rádio.
0,36	0,278	0,33	0,228	0,315	0,25	0,130	0,171	0,299
0,35	0,265	0,32	0,216	0,302	0,24	0,120	0,159	0,278
0,34	0,252	0,31	0,203	0,289	0,23	0,111	0,148	0,268
0,33	0,239	0,30	0,192	0,276	0,22	0,102	0,138	0,252
0,32	0,225	0,29	0,180	0,263	0,21	0,093	0,126	0,237
0,31	0,212	0,28	0,168	0,249	0,20	0,083	0,114	0,222
0,30	0,198	0,27	0,156	0,236				
		0,26	0,145	0,223				
		0,25	0,133	0,210				

Se sabe que la manera más sencilla y frecuente de trazar los arcos de elipse, siendo *ao* y *ob* (fig. 308) sus semi-ejes, consiste en marcar en el canto de una regla tres puntos *efg* tales que se tenga *eg*=*oa*, *fg*=*ob*. Dando diferentes posiciones á la regla, pero de modo que el punto *e* se encuentre siempre en el eje menor y el *f* en el mayor, el *g* estará en la elipse en todas las posiciones.

El arco gótico ú ogival se compone de dos arcos de círculo (fig. 301) que tienen sus centros en los extremos *ab* de la luz, en cuyo caso recibe el nombre de ogiva equilátera. Si los centros están más próximos entre sí como *a' b'* la ogiva es rebajada, y peraltada en el caso contrario.

Por último, el arco en rampa ó *por tranquil* (fig. 309) tiene sus dos arranques á muy distinta altura, y se emplea principalmente para sostener escaleras. Se compone de dos arcos de círculo tangentes entre sí, que tienen verticales sus primeros elementos junto á los arranques. Su trazado se verifica levantando en el punto medio de la recta *ab*, que une los arranques, la vertical *dc* y tomando *dc*=*ad*=*db*: si se trazan las rectas *ac* y *cb*, y en sus puntos medios se levantan las perpendiculares *fd*

y *gd*, sus intersecciones con las horizontales que pasan por *a* y *b* darán los centros respectivos *o'* y *o* de los arcos *ac* y *bc*. Como comprobacion los puntos *c*, *o* y *o'* deberán estar en línea recta (a).

197. **Montea.**—Antes de comenzar la ejecucion de una bóveda cualquiera, y más particularmente si sus dimensiones han de ser algo considerables, es preciso tener un dibujo exacto de la obra. Los planos que en escala reducida se forman de antemano no bastan para conseguir este objeto; y si bien es cierto que al tratar de los muros los hemos considerado en general suficientes, consiste en que en esta clase de construcciones todas las piedras tienen de ordinario una forma sencilla y conocida de prismas, cuyas dimensiones se deducen y comprueban fácilmente al ponerlas en obra; pero no sucede por regla general lo mismo con las bóvedas, en las que pueden y suelen tener unas piedras distinta forma que las demás, y cuyas dimensiones han de ser rigurosamente las que les corresponde, pues de lo contrario resultaria la construccion con irregularidades y deformaciones que perjudicarian, no solo á su aspecto y belleza, si que tambien á su solidez y seguridad.

Por esta causa es necesario hacer un dibujo esmerado y en tamaño natural del conjunto de la bóveda y de sus principales detalles, el cual se forma cerca del punto en que se ha de construir, y recibe el nombre de *montea*. Este dibujo pudiera obtenerse aumentando en la relacion necesaria todas las líneas que forman el plano reducido hecho en el papel, á cuyo fin se haria uso de los procedimientos geométricos para trazar figuras semejantes; pero este medio, exacto en teoría, aumenta y multiplica los errores en la práctica, razon por la que no se emplea. En su consecuencia, es necesario ejecutar directamente el di-

---

(a) En efecto; hagamos

$$cob=\alpha \qquad bco=\beta$$
$$co'a=\alpha' \qquad o'ca=\beta'$$

y tendremos

$$\left.\begin{array}{l}\alpha=180^\circ.-2\beta\\ \alpha'=180^\circ.-2\beta'\end{array}\right\}\text{de donde } \alpha+\alpha'=2.180^\circ.-2(\beta+\beta')$$

y como por construccion se tiene

$$\beta+\beta'=90^\circ.$$

resulta

$$\alpha+\alpha'=180^\circ.$$

bujo de la bóveda en escala natural y en un plano bien preparado.

Con este fin se puede hacer uso, cuando la obra es de cortas dimensiones, de un muro que tenga bien plano y liso el paramento; pero si fuera de mayor importancia se prepara una superficie plana en el suelo, tomando ciertas precauciones para que no se deteriore. Se empieza por igualar el terreno en la superficie necesaria para que quepa el dibujo de la obra, formando despues un embaldosado de ladrillos y mortero de cal ó yeso, de modo que resulte próximamente plano; y por último, se reviste con un enlucido de yeso ó de cal hidráulica, aplicando con frecuencia el canto de una regla á fin de comprobar el plano y extendiendo en las depresiones una ligera capa de yeso ó de cal hasta que resulte la superficie que se busca.

Hecho esto, se procede á dibujar en escala natural las dos proyecciones principales y las auxiliares que sean necesarias de la obra, con objeto de tener los datos indispensables para su ejecucion. Este dibujo es en su esencia igual al que se hace sobre el papel, y solo difiere en los instrumentos empleados. En vez de compás se usa un cordel ó bramante fino y bien hilado, que se embrea para que la humedad no altere su longitud, fijando uno de sus extremos en el centro del arco de círculo que se quiere trazar y uniéndole á la distancia conveniente un lápiz ó puntero fino; el movimiento de éste, con una tension constante del cordel, describirá el arco buscado. Sustituyendo el cordel con un alambre fino y resistente se puede obtener más exactitud en el trazado. Tambien se usa á veces una regla ó más, perfectamente empalmadas, que se pone de canto *aa* (figura 310), la cual está unida por uno de sus extremos á una armadura compuesta de dos chapas metálicas *cc*, que se reunen inferiormente y terminan en una punta de acero, y por el otro á otra armadura del mismo género que abajo sostiene un lápiz: esta segunda puede correr á lo largo de la regla y colocarse á la distancia conveniente de la primera, para lo que se aprieta el tornillo *tt*. Manejando con cuidado este aparato, se alcanza mucha exactitud en el trazado de los arcos. Las reglas no difieren de las que se emplean en la delineacion ordinaria, sino en sus mayores dimensiones, y siempre se deberán comprobar y rectificar.

Cuando las bóvedas tengan un espesor constante y sean iguales todas las dovelas, se puede evitar el trazado de una gran parte de la montea, bastando obtener las dimensiones de una sola, ya gráficamente como se acaba de explicar, ya deduciéndola de los datos de la obra, como luz, flecha, desarrollo del arco total, número de dovelas y espesor de la bóveda, lo cual no presenta dificultad.

Siempre que se pueda, deberá estar cubierta la montea, para lo que se utiliza algun almacen ó edificio inmediato á la obra. y en tal caso se emplea el yeso en su construccion. Si esto no pudiera ser y tuviese que estar al aire libre, es preciso hacer uso de la cal hidráulica, para que las lluvias y la humedad no deterioren la superficie en que se hace el trazado. Con objeto de evitar que las aguas permanezcan sobre la montea, y que los arrastres de las lluvias puedan rayarla ó depositarse en ella, se la da una ligera inclinacion en vez de estar completamente horizontal, y se forma una pequeña zanja por el lado en que pudieran llegar los arrastres.

198. **Observacion.**—En la construccion de las bóvedas se debe cuidar de que el número de dovelas que entran en su formacion sea impar, colocadas simétricamente con respecto á la clave y presentando las superficies de hilada y de junta normalmente al intradós y normales entre sí. Las dimensiones de las dovelas dependen del espesor de la bóveda; pero cuando éste es muy grande se le forma con dos ó más piedras, segun se ha hecho en muchos casos en bóvedas de sillería y se practica constantemente en las de ladrillo.

La construccion de las bóvedas presenta cuatro fases distintas, cada una de las que consta de operaciones muy diversas. Estas tienen siempre lugar en la práctica en el órden siguiente: 1.° *Construccion y colocacion de las cimbras*; 2.° *Ejecucion de la fábrica de la bóveda*; 3.° *Descimbramiento*, y 4.° *Trabajos complementarios*. Veamos ahora los detalles de ejecucion de cada una de ellas.

ARTÍCULO II.

Construccion y colocacion de las cimbras.

199. **Generalidades sobre estas obras.**—Se da el nombre de cimbras á las construcciones auxiliares que tienen por objeto sostener los materiales que entran á formar una bóveda mientras se construye, y una vez terminada se quitan aquellas empleando procedimientos que más adelante describiremos. Atendido su carácter de construccion provisional y el objeto de su empleo, deberán llenar á más de las condiciones generales de los andamios, la de ser, en cuanto sea posible, indeformables por la accion del peso de los materiales, á fin de que la bóveda resulte con la forma que le corresponda.

Cuatro partes distintas hay que considerar en el empleo de las cimbras, y son: la composicion, la colocacion, el descimbramiento y la demolicion.

Puesto que las cimbras sirven para sostener los materiales de las bóvedas, se deduce que la forma de las primeras depende de la de las segundas, siendo por lo tanto sumamente variable. En las bóvedas de revolucion de eje vertical basta sostener cada una de sus hiladas horizontales mientras se construye, y una vez terminada, ya no necesita la cimbra; pero en las demás la cimbra deberá tener por su parte superior la misma superficie que ha de formar el intradós de la bóveda. Sin embargo, el caso de más frecuente aplicacion es el de las bóvedas cilíndricas, que será el que consideraremos para el estudio de las cimbras, las cuales solo experimentan en los demás ligeras modificaciones.

Los materiales con que se forman las cimbras pueden ser la tierra ó piedra, la fábrica de ladrillo, la madera y el hierro; si bien es cierto que en la generalidad de los casos solo se emplea con este objeto la madera.

200. **Cimbras de tierra.**—En ciertas circunstancias particulares, y siempre que en la localidad haya tierras abundantes, se pueden emplear como cimbras de bóvedas pequeñas. Para esto basta formar con este material bien apisonado un macizo cuya cara superior sea igual al intradós de la bóveda; y á fin de que esta cara posea la conveniente resistencia y lisura, se reviste la

tierra con una capa de mortero ó yeso, comprobando su forma por medio de cerchas y reglones. Una vez concluida la bóveda se escavan las tierras de la cimbra al cabo de cierto tiempo y queda la obra libre y terminada.

En algunos casos, como sucede en los alcantarillados de las poblaciones y en general en las bóvedas subterráneas, puede decirse que el macizo de la cimbra ya está formado y solo hay que cuidar de escavar las partes laterales para la construccion de los estribos y dar á la cara superior la forma conveniente, revestida como ya se ha dicho. Tambien hay circunstancias en las que en vez de tierra apisonada es más económico hacer uso de piedra suelta ó mampuestos bien colocados, que se recubren por la parte superior con tierra revestida de yeso ó mortero.

De todos modos se comprende fácilmente que el empleo de estas cimbras es muy limitado y solo aceptable cuando la luz de la bóveda sea pequeña, haya abundancia de tierra ó piedra y no tenga necesidad de dar libre paso á las aguas durante su construccion.

201. **Cimbras de fábrica.**—Hay circunstancias en que se emplea con ventaja el ladrillo para formar la cara superior de las cimbras, y en este caso se empieza por establecer primero una sencilla y ligera cimbra de madera, como las que se describirán más adelante, y sobre ella se colocan dos ó más capas de ladrillos puestos de plano (fig. 311), cuyas juntas se toman con yeso, evitando que se correspondan de una capa á la contigua. Sobre la superior se extiende otra de mortero ó yeso que se iguala y regulariza hasta darla la forma exacta que deba tener. Si la humedad de los morteros de la bóveda pudiera perjudicar á la cimbra, ésta se compone entonces, á más de las dos capas antedichas, de otra ú otras dos encima, tomadas sus juntas con cemento, y recubiertas de una ligera capa de arcilla bien apretada. En la construccion de puertas y ventanas se hace uso de cimbras de este género, compuestas de los montantes *ab* coronados con las carreras *c*, sobre las que cruzan los travesaños *d*, que sirven de apoyo á varias hiladas de ladrillo, recubiertas con una capa de mortero alisado, segun la forma del arco.

En ciertas circunstancias puede hacerse que la cimbra quede formando parte de la obra definitiva, sirviéndola de refuerzo, y en tal caso se toman con cemento todas las juntas de los

ladrillos, cuidando de dar á la primera capa la forma exacta que haya de tener el intradós y ligando á la última el resto de la obra.

El descimbramiento se verifica quitando primero la parte de madera, como se verá en su lugar, y desprendiendo despues las capas de ladrillo, lo cual no presenta dificultad cuando están unidos con yeso; pero si están tomados con cemento se desprende á grandes trozos, para lo cual se rompen los ladrillos próximos á los arranques. Como los ladrillos unidos con yeso se separan fácilmente, se puede aprovechar este material en los trabajos ulteriores, y de todos modos proporciona cimbras resistentes y económicas, sobre todo en las localidades en que escasea la madera.

202. **Cimbras de madera.**—Estas son las que se emplean más generalmente, y constan en su conjunto de una superficie de madera cuya cara superior coincide con el intradós de la bóveda, sostenida de trecho en trecho por piezas convenientemente enlazadas entre sí y situadas en planos verticales y paralelos, formando lo que se llaman *cerchas*, las cuales se apoyan en otras piezas que insisten en puntos fijos del suelo ó de los estribos. Los planos de las cerchas se colocan paralelamente á las cabezas del cañon.

Puede adoptarse en el estudio de las cimbras una clasificacion análoga á la que se hizo en los andamios, diviéndolas en cimbras *pequeñas*, *fijas* y *móviles*. Cada una de estas se subdivide á su vez en varios grupos, segun vamos á ver á continuacion.

Las piezas que entran á componer cada cercha deben formar entre sí figuras triangulares, á fin de que solo puedan experimentar la deformacion que resulte de la compresion de las fibras y del juego de los ensamblajes.

203. **Cimbras pequeñas.**—Como indica su nombre, se emplean estas cimbras en la construccion de las pequeñas bóvedas y aberturas de los edificios, y se distinguen por su disposicion sencilla y ligera.

Cada cercha está compuesta generalmente de una pieza horizontal ó *tirante a* (fig. 312), á cuyos extremos vienen á unirse dos tablones *b* llamados *camones*, que por la parte superior se pueden cruzar y clavarse entre sí, ó se unen á la pieza verti-

cal *c* ó *pendolon*, que se enlaza con el tirante. Estas uniones se suelen hacer á caja y espiga con cabillas. Sobre los camones, que en su borde exterior presentan la forma del arco, se clavan tablas que unen entre sí las cerchas y sirven de apoyo á la bóveda. Los tirantes insisten sobre dos carreras *dd*, sostenidas por varios postes.

La fig. 313 representa otra cercha del mismo género en que hay doble espesor de camones, y la 314 solo tiene un camon y se emplea en la construccion de los arcos de sillería.

Cuando se emplean estas cimbras en bóvedas de bastante longitud, se colocan las cerchas de metro en metro próximamente, y el entablonado superior tiene 3 ó 4 metros de longitud, afectando la figura de un cilindro y recibiendo el conjunto el nombre de *galápago*. Estos se separan de las bóvedas, quitando los postes inferiores que los sostienen y se trasportan á continuacion, si ha de tener más longitud la obra, que de este modo resulta hecha por trozos.

La fig. 315 es el dibujo de una cercha de cimbra en rampa para los arcos que á veces sostienen las escaleras. Si el arco tiene poco espesor, basta una sola cercha; de otro modo, se ponen dos paralelas para formar el espesor necesario y servir de apoyo á la fábrica superior.

204. **Cimbras fijas.**—Esta clase de cimbras se coloca en el punto en que se haya de levantar la bóveda, y no se las cambia de posicion hasta que, concluida ésta, se las quita. Se dividen en tres grupos, que reciben la denominacion de cimbras *con tirante*, *recogidas* y *con apoyos intermedios*.

Las primeras están compuestas de cerchas cuya disposicion esencial aparece en la fig. 316 y constan de un tirante *a*, dos *pares b,b* y el pendolon *c*. Si la separacion entre el arco y los pares es pequeña, se pueden sentar directamente sobre éstos los camones; pero si no fuera así, se establecen sobre cada uno otros dos nuevos pares *dd* y el pendolon *e*, sobre los que insiste la parte superior. A fin de evitar la flexion que pudieran experimentar los pares *b*, se coloca á veces la pieza horizontal *f* señalada con trazos y aun se refuerzan con las inclinadas *g*, *g*, pudiéndose en tal caso suprimir la parte del pendolon inferior á la pieza *f*, la cual recibe el nombre de *puente* y de *contrapares* las *gg*. La distancia que separa á una cercha de otra suele ser

de 1,50 metros. Estas cimbras, aunque muy resistentes, solo se emplean en bóvedas cuya luz no exceda á la longitud que puede darse al tirante, que generalmente no pasa de 8 á 10 metros.

Si la luz es mayor hay que apelar á cimbras sin tirante, llamadas *recogidas*, las cuales se subdividen en cimbras *con puente* y *sin él*. La más sencilla de las cimbras recogidas con puente, la cual se emplea en bóvedas de 8 á 12 metros de luz, ya sean de medio punto ó rebajadas, es la que aparece en la figura 317, y se compone de dos grandes pares con su pendolon, insistiendo sobre cada uno otros dos pares y otro pendolon, y abrazando el conjunto el puente *ab*, compuesto de dos piezas formando cepo. El volúmen de madera empleado en esta cimbra es de $2,^{m3}70$ por cercha. Si la abertura es de 12 á 15 metros se refuerza la parte central de estas cerchas con dos tornapuntas, señaladas de trazos en la figura, y si es necesario se aumenta algo la escuadría de las piezas; pero si la luz es menor de 8 metros se suprimen los pares y los pendolones secundarios.

Las cerchas de estas cimbras pueden distar entre sí de $1,^{m}60$ á $2,^{m}00$ y el entablonado superior tiene ordinariamente $0,^{m}07$ de grueso.

Pasando la luz de 15 metros se modifica la disposicion anteriormente descrita, adoptándose la de las figs. 318 á 320, que representan la cimbra de un viaducto cuyos arcos tienen los arranques á 35 metros sobre el suelo. Se componen de dos piezas *aa*, sosteniendo cada una un pendolon y dos pares secundarios; uno de éstos se prolonga hasta llegar al pendolon principal, y sobre el mismo se establece otro pendolon con sus pares. El conjunto de estas piezas, con las tornapuntas *tt*, está perfectamente ligado con los dos puentes *mm*, *nn*, cada uno de los que forma un cepo. Como la altura de la obra es tan considerable, no se han podido emplear postes para el apoyo de la cimbra, como se ha dicho anteriormente, y en su lugar se han colocado en la parte superior de los apoyos, y atravesando su fábrica, seis carriles de hierro que presentan una saliente de $0,^{m}60$ por cada lado. Sobre estos carriles se colocaba una carrera, y encima se ponian varios tacos para sostener la carrera *c*, sobre la cual insistian las cerchas de la cimbra: en el intervalo de las dos carreras se colocaban los aparatos de descimbrar, cuando se tenia que proceder á esta operacion, segun veremos en su lugar cor-

respondiente. Por último, el entablonado superior estaba formado por piezas de 0,^{m}10 × 0,^{m}15 de escuadra, dejando entre sí intervalos de 0,^{m}12 para poder observar por el intradós la posicion de las dovelas al ponerlas en obra.

La posicion de los puentes en estas cimbras puede variar entre ciertos límites; pero generalmente se fija en los arcos de medio punto y capaneles, trazando en los arranques dos verticales hasta que encuentren en los puntos *h* á la horizontal que pasa por el punto más alto, y dirigiendo desde éstos las normales *hk* al arco. El punto de encuentro *k* determina la posicion de un extremo del puente, cuando solo hay uno.

Tambien se hace uso para las luces indicadas, y para otras mayores, de cimbras recogidas sin puente, siendo en este género de las más notables la que se empleó en el puente de Neuilly, representada en las figs. 321 á 323, la cual tenia 38,^{m}80 de luz y 9,^{m}70 de flecha. Cada cercha se componia de un polígono equilátero inscrito en el intradós de la bóveda, uniéndose las piezas á junta plana por sus extremos; por bajo habia otro polígono semejante, cuyos vértices correspondian al medio de los lados del primero; por bajo otro situado en las mismas condiciones y cuyos lados resultaban paralelos á los del primero, y por último otro inferior paralelo al segundo. En los vértices se colocaban los cepos *aa* que servian para enlazar los polígonos entre sí y formar un todo solidario. La separacion de las cerchas era de 2,^{m}00 de eje á eje.

En cimbras de este género se pueden emplear piezas más cortas y de menor escuadría que en las de puente; pero en cambio las deforma la variacion de pesos que tienen que experimentar durante la construccion de la bóveda, por lo que reciben tambien el nombre de cimbras *flexibles*. Así es que si se cargan hácia los riñones se eleva la parte central, y para evitar este efecto es necesario comprobar constantemente las deformaciones que experimente á medida que adelanta la fábrica de la bóveda y anularlas por medio de pesos variables colocados en la parte superior. Además, la pequeña longitud de las piezas hace que sean numerosas las juntas y pueda tener lugar una marcada comprension en el conjunto de cada cercha por los pesos superiores, lo cual es un grave inconveniente. Por estas causas se observó en el puente de Neuilly que el asiento de la bóveda so-

bre la cimbra fué de 0,^{m}61 siendo de 0,^{m}30 el que experimentó despues del descimbramiento.

Otro tipo de cimbra recogida, sin puente, pero que no es flexible como la anterior, es el que aparece en la fig. 324 y se empleó en el puente de Waterlóo en Lóndres, cuyos arcos tienen 36,^{m}36 de luz y 9,^{m}70 de flecha. Dividido el arco en varias zonas para formar el polígono de los camones se sostenia cada uno de sus vértices por medio de dos largas piezas que se apoyaban inferiormente en las extremidades de la cercha y por la parte superior sujetaban una sopanda. Todas estas piezas se cruzaban en tres puntos principales, y para evitar los ensamblajes múltiples que esto ocasionaria, se colocaron las armaduras de hierro fundido *a,b,c* de la forma conveniente, donde venian á terminar las piezas de madera. En los demás puntos de cruzamiento se unian entre sí á media madera. Las manguetas cepos *dd* sirven para consolidar el sistema. A la altura del ángulo de 30° se apoyaban las piezas en cremalleras *ff* que, como veremos más adelante, servian para el descimbramiento y estaban sostenidas por cinco puntales apoyados en los retallos de las pilas.

El asiento que experimentó el puente mientras estuvo apoyado en la cimbra apenas fué perceptible, mientras que en el de Neuilly llegó á ser tan considerable como ya hemos dicho, y esto prueba la mayor resistencia que presentan estas cimbras sobre las flexibles.

En muchos casos hay conveniencia y economía en componer las cerchas combinando la disposicion de las flexibles con las de puente, como aparece en la fig. 325 que representa la cimbra empleada en el puente de la Horadada, de 23,^{m}40 de luz y 5,62 de flecha, la cual se compone de dos polígonos reforzados con el puente *aa'* y los jabalcones *b* á más de las manguetas cepos *c*. La mayor variacion que esta cimbra ha experimentado no pasa de 0,^{m}03 en la clave, y demuestra de nuevo la conveniencia del empleo de los puentes en las cimbras flexibles.

205. **Cimbras con apoyos intermedios.**—Cuando las condiciones locales lo permiten se subdivide la luz total de la bóveda en otras varias, estableciendo apoyos intermedios, sobre los cuales insiste la cimbra, que por esta razon puede presentar, á igualdad de resistencia, mayor sencillez y ménos volúmen de madera que si no existieran los apoyos. En luces menores de

15 metros no se necesita por lo regular apelar á éstos, á no ser que su establecimiento sea sumamente fácil; pero en las grandes luces son en muchos casos muy convenientes y proporcionan notable economía.

La fig. 326 representa la cimbra de una bóveda escarzana de $14,^{m}40$ de luz con dos apoyos intermedios formados con piezas de madera. La cercha en cada uno de los tres claros que resultan se compone de dos jabalcones que sostienen superiormente una pequeña sopanda, sobre la cual y los apoyos insisten las piezas en que descansan los camones. Tres manguetas cepos consolidan el sistema, que solo exige $5,^{m3}50$ de madera por cercha, estando éstas á unos $2,^{m}00$ de separacion. Para que sea económico el empleo de estos apoyos es preciso que el terreno firme se encuentre á poca profundidad de la superficie del suelo.

La cimbra empleada en el puente de Chester de $60,^{m}60$ de luz (fig. 327) estaba sostenida por el pié de los estribos y por cuatro apoyos de mampostería ordinaria construidos con este objeto en el lecho del rio. Sobre cada uno de éstos habia una placa de fundicion de forma apropiada, en la que se apoyaban los puntales, los cuales se ligaban entre sí por su otro extremo fijándolos á dos órdenes de tablones que los encepaban y encima se colocaba como de ordinario el entablonado superior de $0,^{m}11$ de grueso, segun describiremos más adelante. Todo el sistema estaba perfectamente reforzado con los dos puentes aa', bb' formando cepo y cuya escuadría total era de $0,^{m}33$.

Otro ejemplo notable de cimbras de este género es la empleada en el puente de Fium'-Alto (fig. 328 lam. 14) de $40,^{m}$ de luz y cuyas cerchas distan entre sí $1,^{m}23$. Cada una de éstas descansa en nueve apoyos formados los dos extremos por un solo pilote, por tres el central y por dos los intermedios. Encima de cada apoyo hay un poste vertical a y de uno sí y otro no parten de su pié piezas inclinadas bb formando pares, que con el poste que comprenden, el cual hace las veces de pendolon, y el puente cepo mm, componen un sistema indeformable. Se refuerza el conjunto con otro puente cepo superior nn y jabalcones que sostienen los camones, refiriéndose así todo el peso á los postes verticales.

Conservando la disposicion general que acabamos de indicar y modificando los detalles con arreglo á las circunstancias,

se ha hecho uso de estas cimbras en muchas obras, siendo la representada en la fig. 329, la que se empleó en el gran viaducto de Nogent-sur-Marne, de 50,^{m} de luz.

206. **Cimbras de arcos marineros.**—Al construir un puente en un rio navegable hay que disponer las cimbras de modo que pueda verificarse la navegacion por uno ó dos arcos durante los trabajos, y á este fin se deja en ellas ciertos espacios libres, de dimensiones convenientes, para el paso seguro de los barcos.

La fig. 329 hace ver la disposicion adoptada con este objeto en Nogent-sur-Marne donde se dejó un portillo libre de 12 metros de ancho, que permitia la navegacion.

En general, cuando hay que dejar en una cimbra un portillo para el objeto indicado, es necesario reforzar los apoyos que le limitan lateralmente, cubriéndole con una ó más vigas armadas y las piezas inclinadas que se crean convenientes, á fin de referir á dichos apoyos todas las cargas superiores á la abertura. Tanto estas diversas piezas, como los apoyos, deben ligarse con el resto de la cimbra de modo que se contraresten los esfuerzos que tiendan á verificar alguna flexion en cualquiera de ellas.

207. **Cimbras diversas.**—En algunos casos se emplean cimbras *colgadas* que pueden ser ventajosas cuando se disponga de puntos de apoyo encima de los estribos ó pilas de la bóveda y sobre los cuales se puedan tender piezas horizontales de suficiente resistencia para colgar de ellas, por medio de tirantes de hierro ó de cadenas, las cimbras de la bóveda. Cuando las bóvedas son de ladrillo y el mortero de cemento, puede reducirse la resistencia de la cimbra á la necesaria para sostener dos roscas, sirviendo despues éstas de apoyo á las demás.

Un ejemplo sencillo de esta disposicion, empleada en la ejecucion del suelo del mercado construido en la plaza de la Cebada en esta capital, es el representado en las figs. 330 y 331, y consiste en las varillas *aa* sosteniendo las piezas *bb* sobre que insisten los galápagos. Las varillas acaban superiormente en roscas que atraviesan las piezas horizontales *cc*, las cuales están sostenidas por tacos que se apoyan en los cuchillos de hierro *d* y apretando las tuercas correspondientes las piezas *bb* se ajustan á los cuchillos y el galápago toma la posicion que debe ocupar.

Cuando hay dos ó más bóvedas contiguas se aumenta la rigidez de sus cimbras correspondientes, colocando delante de los tímpanos tirantes de hierro horizontales que liguen entre sí las piezas contiguas de una y otra cimbra.

En las bóvedas de revolucion de eje vertical, se suelen reducir las cimbras á armaduras en forma de anillos horizontales que se sostienen á la altura de la hilada que se construye y una vez terminada se sube para que sostenga la hilada superior, continuándose del mismo modo en las demás. Si se emplean cimbras completas, se componen de cerchas que en vez de ser paralelas concurren al eje vertical de la bóveda y se reunen por un pendolon comun á todas, de la misma manera que se dirá al tratar de las armaduras de madera.

Se usan cimbras de hierro, ya fundido ó laminado, en las bóvedas de mucha longitud, como túneles, etc., las que se apoyan unas veces en rodillos y otras en carriles de hierro Cuando se ha terminado un trozo de bóveda se baja algo la cimbra que la sostiene por medio de tornillos á propósito, como se verá al tratar del descimbramiento, y se la hace correr sobre los rodillos ó carriles hasta que tome la posicion conveniente para construir el trozo contiguo de bóveda, continuando de la misma manera en todos los demás, hasta la terminacion.

208. **Correas y riostras.**—La parte superior de las cimbras varía segun sea la clase de fábrica de la bóveda. Si es de pequeños materiales, como mampostería ó ladrillo, aquella constituye una superficie contínua formada con tablas ó tablones que van de una cercha á otra, como se ha dicho más atrás, resultando en su cara superior con la misma forma que ha de afectar el intradós de la bóveda. Pero si ésta se construye con sillería ó grandes materiales formando hiladas regulares, se remplazan los tablones con largas piezas escuadradas, llamadas *correas*, paralelas á las generatrices del intradós. Para que las correas se encuentren á la distancia exacta que debe separarlas de la bóveda se las coloca sobre dobles cuñas clavadas generalmente á las cerchas y de modo que al centro de cada hilada corresponda una correa: además, cada dovela se apoya sobre otras pequeñas cuñas que insisten en la respectiva correa, por cuyo medio se la da la posicion exacta que debe ocupar definitivamente respecto al intradós de la bóveda. La fig. 332 (lám. 13)

representa las correas *a* vistas por sus extremos y colocadas sobre las cuñas *b*, y las dovelas *d* que se apoyan en las cuñas *c*.

Cuando las dimensiones de las cerchas son algo considerables no basta ligarlas entre sí por medio de las correas, para que se conserven en una posicion invariable durante los trabajos; y á fin de conseguir este objeto se colocan otras piezas llamadas *riostras*, que van de una cercha á otra y fijan convenientemente su posicion relativa. Estas riostras pueden ser sencillas ó dobles formando cepos y comprendiendo alguna de las piezas que componen las cerchas. En las figs. 321, 324, 327 y 329 se ha señalado con la letra *x* las piezas que llenan este objeto. Además, cuando la cimbra es de gran luz, se refuerza el sistema por medio de piezas inclinadas que generalmente forman cruces de San Andrés de una á otra cercha, situadas, ya en el plano vertical de los pendolones, ya en el horizontal de los tirantes ó puentes, ya por último en los inclinados de los pares: algunas veces se reemplazan estas piezas inclinadas con varillas de hierro ó contravientos que hacen solidario el sistema.

209. **Comparacion de las cimbras.**—La eleccion que en cada caso particular convendrá hacer entre los diversos tipos de cimbras de madera que acabamos de describir, dependerá generalmente de la importancia de la obra y de las condiciones de la localidad; pero puede establecerse que los tirantes son siempre convenientes mientras su empleo no sea difícil y costoso, y que hasta cierto punto pueden reemplazarlos los puentes, cuando están bien situados. Las cimbras flexibles proporcionan mayor desagüe en las crecidas y facilitan la navegacion; además se pueden construir con piezas más pequeñas que las demás; pero su número es mayor, más complicada su composicion y más costosa su mano de obra: esto, unido á la contínua deformacion que experimentan, no las hace recomendables sino en ciertos casos. Las de apoyos intermedios pueden levantarse, por regla general, más sencillas y fuertes y con ménos material que las otras, teniendo la ventaja de sostener y repartir mejor las presiones ocasionadas por la bóveda.

Las cimbras colgadas solo se emplean en bóvedas muy pequeñas ó en reparaciones de obras ya ejecutadas, en las que sea fácil proporcionarse puntos resistentes de suspension á cierta altura. La movilidad de las corredizas limita su empleo á las

bóvedas de mucha longitud, de seccion constante y que no produzcan grandes cargas como en los túneles y alcantarillados.

210. **Colocacion de las cimbras.**—Esta operacion, que exige mucho cuidado para que la bóveda resulte con la forma que le corresponde, se verifica de dos maneras distintas, segun que las cerchas no tengan tirantes, ó bien los tengan ó insistan en apoyos intermedios.

En el primer caso se arman las cerchas en una montea en la proximidad de la obra, y despues se van elevando una á una á la posicion que deban ocupar, empleando con este objeto fuertes cábrias sostenidas en andamios establecidos á lo largo de la obra. Antes se han debido colocar los piés derechos, cabezales y las carreras que han de sostener la cimbra, y despues de subir la primera cercha se la sitúa en la posicion que deba ocupar, sosteniéndola inmediatamente de una manera provisional con cuerdas ó piezas de madera inclinadas. Una vez colocada la primera cercha, que generalmente es la de un frente, se establece la del opuesto y despues las intermedias, comprobando á continuacion si los ejes verticales de todas están en el plano vertical del eje de la bóveda, para lo cual se hacen visibles los primeros, clavando un reglon ó estableciendo una plomada en el centro de cada cercha. Si todas están en el plano vertical que pasa por dos puntos fijos en el terreno al verificar el replanteo de la obra, los cuales corresponden á la proyeccion del eje de la bóveda, es señal de que las cerchas están bien colocadas: de no ser así, se las mueve lo necesario con palancas ó gatos hasta que ocupen la posicion conveniente. Llegados á este punto, se fijan definitivamente entre sí, colocando las correas ó el entablonado superior y las riostras y demás piezas que llenan este objeto.

Cuando las cerchas están formadas con grandes piezas, como sucede generalmente en las de tirante y en las de apoyos intermedios, se van subiendo y armando pieza á pieza, empezando por el tirante, cuya posicion se comprueba; despues se coloca el pendolon, luego los pares, y así se continúa con todas las demás. Cada cercha se sostiene provisionalmente y se comprueba, como hemos dicho en el caso anterior, y por último se colocan las correas y el arriostrado.

Durante la ejecucion de la bóveda conviene comprobar con

frecuencia las deformaciones que pueda experimentar la cimbra, á fin de remediarlas, cargándola en los puntos necesarios.

Aunque en algunos casos se ha dado á las cimbras algun peralte sobre la superficie de intradós de la bóveda, con el fin de que al experimentar ésta el asiento resulte en definitiva la curva que se busca, no es de recomendar este procedimiento, en primer lugar por la complicacion que ocasiona el peralte en la forma de la curva, y despues porque no se conoce *a priori* el asiento definitivo de la obra.

ARTÍCULO III.

Ejecucion de la fábrica de las bóvedas.

211. **Consideraciones generales.** La ejecucion de las bóvedas es una de las operaciones más delicadas de la construccion, y para obtener un buen resultado es preciso tomar diversas precauciones, que aun pareciendo minuciosas á primera vista, son, sin embargo, indispensables, si la obra ha de tener la solidez y belleza convenientes.

Construidas y colocadas las cimbras como se ha dicho en el artículo anterior, se procede á la ejecucion de la fábrica de la bóveda con el mayor esmero, á fin de que los asientos ulteriores sean pequeños y distribuidos con uniformidad: de lo contrario, aparecerian deformaciones y garrotes perjudiciales en la curva directriz, que podrian afectar á la resistencia de la obra. Por lo que ya hemos advertido, supondremos en lo que sigue que las cimbras no tienen ningun peralte, habiéndose construido exactamente con la forma que el arco deba tener, lo cual no influye de una manera sensible en la resistencia definitiva de la obra, y permite construirla y comprobarla con más exactitud y seguridad.

Aun cuando los detalles de construccion que siguen se refieren más principalmente á las bóvedas en cañon, son, sin embargo, aplicables, con ligerísimas y fáciles alteraciones, á cualesquiera otras, razon por la que nos limitaremos á describirlos en las primeras.

212. **Bóvedas de sillería.** Labradas las dovelas al pié de

la obra, segun la forma que deban tener, se procede á su colocacion. Para esto, se empieza por señalar en cada uno de los extremos ó cabezas de la cimbra los puntos por donde han de pasar las líneas de hilada de la bóveda, con arreglo al dibujo de montea, marcando dichos puntos sobre la cimbra, ya por medio de pequeñas muescas, ya clavando puntas de París. Despues se unen cada dos puntos correspondientes de ambas cabezas por medio de reglas ó tendiendo un cordel y se señala la línea de hilada en la cimbra.

Puestas las dovelas encima de ésta por cualquiera de los medios explicados anteriormente (186 á 190), y llevando la construccion por hiladas simétricas á partir de los arranques, se hace que las superficies de hilada resulten normales al intradós de la bóveda, empleando con este fin una ó varias falsas escuadras *abc* (fig. 333) sacadas de la montea, que tienen en uno de sus brazos cierta longitud del arco de intradós y en el otro una normal á éste. Si el intradós es una curva carpanel ó elíptica, se necesitarán en el primer caso varias escuadras y en el segundo tantas como hiladas simétricas de dovelas haya. Sin embargo, en el dia se sustituyen estos medios por otros, bien sea trazando en el taller de labra, sobre la cabeza de cada dovela, una recta bien marcada que deba resultar vertical cuando esté puesta en obra, bien haciendo uso de la escuadra de talud, de que se ha tratado en otra ocasion (108).

Estos medios de comprobar la posicion de las dovelas, aunque muy empleados en la generalidad de estas construcciones, no son suficientes cuando se trata de grandes bóvedas, como las de los arcos de los puentes. En tal caso se fija la posicion de las hiladas de cada dovela, tanto en el intradós como en el trasdós por medio de sus coordenadas rectangulares; así puede fijarse la posicion del punto *c* (fig. 334) por la abscisa horizontal *ab* que pasa por los arranques y la ordenada *bc*. Del mismo modo se determinarian las coordenadas del punto *c'* y así se fijaria la posicion exacta de la hilada *cc'*: los valores de las coordenadas se deducen de la montea y se comprueban en obra con reglas horizontales y la plomada. Bajo otro punto de vista es además conveniente este método para comprobar la posicion de las dovelas de los grandes arcos; pues aunque sea suficiente la resistencia de las cimbras y se combinen con este objeto del mejor

modo posible todas las piezas que entran á formarlas, siempre sucede que se deforman más ó ménos por el peso de las dovelas que sucesivamente van recibiendo, lo cual ocasiona cierta elevacion en la parte superior de las cerchas, cuando se cargan mucho los riñones. Por esta razon es preciso, no tan solo poder conocer y comprobar la posicion exacta de cada dovela, sino rectificarla siempre que sea necesario, y á este fin se anulan las variaciones de curvatura que haya experimentado la cimbra cargándola por su parte superior con la cantidad suficiente de los mismos materiales que se destinan á la construccion de la obra, hasta que vuelva á ocupar la posicion que le corresponda.

213. **Detalles de ejecucion.**—Ya hemos dicho que la construccion de las bóvedas se lleva de una manera simétrica á partir de los arranques. Para sentar las dovelas de una hilada cualquiera de sillería, despues de haber enrasado perfectamente la inferior, se recubre ésta con una capa uniforme de mortero fino, cuyo espesor suele variar de 8 á 15 milímetros. Debe cuidarse de que no caiga ningun mortero sobre el entablonado de la cimbra, si le tuviera, ni sobre la correa en que, como de ordinario, ha de apoyarse la hilada que se está construyendo; pues de lo contrario resultarian en el intradós cambios de posicion y resaltos perjudiciales á la solidez y belleza de la obra. Sentada de este modo una dovela se la comprime con un fuerte mazo ó pison de madera, hasta que el espesor de la capa de mortero se reduzca como á la mitad y la cara de intradós ajuste perfectamente con la cimbra. Hecho esto, y colocada del mismo modo la dovela contigua, se acuña perfectamente á baño de mortero algun hueco que pueda resultar en las juntas ó hiladas.

Por regla general deberá ejecutarse esta fábrica con todo esmero, y al construir una hilada conviene comenzar por poner las dos dovelas de las cabezas, comprobando y corrigiendo si es necesario su posicion, con arreglo á lo dicho anteriormente. Colocadas éstas, no hay dificultad en sentar las intermedias sirviendo aquellas de guias para fijar su posicion.

Siguiendo esta marcha hasta que solo falten por poner las hiladas de clave y contraclave, se procede á ejecutar la operacion más delicada de estas obras, que es su *cerramiento*. A este fin se empieza por sacar una plantilla exacta del claro que fal-

ta rellenar y se labran la clave y contraclaves con arreglo á esta plantilla (a) colocándose las últimas como las demás hiladas. Una vez colocadas las contraclaves, se recubren sus planos de hilada con una capa de mortero fino, algo consistente y bien manipulado, sobre los cuales se hace apoyar la clave suspendida por medio de un torno ó grua: despues se la desembraga é introduce apretándola fuertemente con un pison de madera de 40 á 50 kilógramos de peso, hasta que oprima con fuerza á las contraclaves y su cara de intradós se apoye bien sobre la cimbra.

Como pudiera suceder, si la clave fuera algo más estrecha que lo que le corresponda, que oprimiera á la cimbra sin hacerlo con las contraclaves, que es lo esencial para la resistencia de la bóveda, se suprime en muchos casos la correa superior, y entonces la clave puede oprimir á las demás dovelas aunque para ello tenga que descender más de lo calculado y presente un resalto en el intradós. Este resalto se deja de intento en muchas bóvedas con el carácter de ornamentacion. De todos modos, al comprimir la clave debe refluir el mortero por todas partes, acusando los puntos en que no haya completa coincidencia con las contraclaves. Una vez ejecutada esta operacion en una de las cabezas de la bóveda, se hace otro tanto en la opuesta, cubriendo por último del mismo modo el claro que comprenden.

Otro método para el cerramiento consiste en poner en seco sobre la cimbra las contraclaves y clave, separándolas de modo que dejen entre sí los claros que haya de ocupar el mortero y llenándolos despues con buen mortero de cemento algo consistente. Vertido éste, se remueve un poco cada dovela para que penetre bien y se le aprieta con la fija, dejándolas en este estado hasta el descimbramiento. Este sistema de fácil ejecucion da buenos resultados en la práctica.

Llevando simétricamente la construccion de las bóvedas á partir de los arranques, se consigue que sus empujes sobre la cimbra, así como la deformacion de ésta, sean simétricos, y entonces se puede fácilmente corregir esta deformacion, como ya

(a) En muchos casos solo se hace esta operacion con la clave; pero entonces se acumulan en ella todos los errores que se hayan podido cometer en la construccion del resto de la bóveda, dando lugar á que resulte mucho más delgada ó más gruesa que las demás dovelas, lo que perjudicaria al buen aspecto de la construccion.

hemos dicho. Además, el mortero va tomando la misma consistencia por ambos lados, siendo igual el asiento y uniforme la presion sobre los apoyos.

214. **Bóvedas de materiales pequeños.**—Tambien se emplean en la construccion de estas obras, cuando no es grande su importancia, el sillarejo, la rajuela, etc., siguiendo en la esencia el mismo sistema de ejecucion que para las de sillería, solo que en lugar de comprobar la posicion de cada hilada, basta hacerlo de cuando en cuando, pero cuidando de llenar las condiciones de buena posicion de los materiales empleados. Las piedras se ponen frontándolas sobre el entablonado de la cimbra, que deberá estar completamente limpio, y comprimiéndolas sobre la capa de mortero que las liga á la hilada inferior. Los sillarejos deberán tener la forma de cuña, pero de no ser así, ó de emplearse la rajuela, se rellenan los huecos que resultan en el trasdós con un fuerte acuñado, hecho con esmero y á baño flotante de mortero.

Si los frentes ó cabezas se forman de sillería y el centro de materiales pequeños que no alcancen todo el espesor de la bóveda, se pueden construir las cabezas y no poner en el centro más que los materiales del intradós, hasta cerrar la bóveda en toda su extension. Hecho esto, se completa el espesor entre las cabezas, poniendo los demás materiales sobre la primera capa ó *rosca* ya construida. Por este procedimiento se disminuye la carga que experimenta la cimbra, repartiéndose por igual el peso del relleno sobre la primera rosca, razon por la que se emplea con frecuencia en la actualidad.

215. **Bóvedas de ladrillo.**—Aunque en algunos casos se hace uso de ladrillos aplantillados para la construccion de las bóvedas, lo más frecuente es emplear los ordinarios. En el primer supuesto se ejecuta la obra como se ha dicho para el sillarejo; pero en el segundo pueden adoptarse distintos sistemas de colocacion, segun varíen las dimensiones de la bóveda, y cuidando de tomar las precauciones recomendadas al tratar de esta fábrica.

Cuando el espesor de la bóveda no excede la longitud de un ladrillo ó de ladrillo y medio, se los apareja muchas veces como en los muros, cuidando únicamente de que los lechos resulten normales al intradós. En esta disposicion el mortero de

las hiladas presenta un grueso mucho mayor en el trasdós que en el intradós; de modo que si la curvatura de la bóveda es grande será conveniente verificar un acuñado con delgadas lajas de pizarra ú otro material análogo introducido en el mortero. Pero si el espesor de la bóveda es mayor que ladrillo y medio, se construye formando varias roscas concéntricas, siendo el grueso de cada una vez y media el largo del ladrillo: estas roscas solo se unen entre sí por una capa contínua de mortero (fig. 335).

La construccion de estas obras por el otro sistema, llamado *inglés*, consiste en formar roscas concéntricas que tengan de grueso el ancho del ladrillo, hasta alcanzar el espesor que sea necesario y cualquiera que sea la curvatura de la bóveda. Unas veces solo están unidas entre sí dos roscas contíguas por la resistencia de la capa de mortero que comprenden; pero es preferible situar á ciertos intervalos una ó dos hiladas de ladrillos puestos á tizon que liguen dos roscas consecutivas. La ejecucion en este último caso puede hacerse, ya ensanchando las hiladas en la rosca exterior, para lo cual se acuñan con lajas los ladrillos que la forman, de tal modo que haya el mismo número de hiladas en ambas roscas, dentro de la zona comprendida entre cada dos tizones, ya colocando los tizones á convenientes distancias para que sin necesidad de ensanchar las juntas en la rosca exterior comprenda una hilada más que la interior, segun aparece en la fig. 336.

El primer procedimiento es preferible para bóvedas que tengan gran rádio de curvatura, al paso que cualquiera de los sistemas del segundo lleva ventaja en las de pequeño rádio.

En las bóvedas construidas por el segundo procedimiento son mucho menores los asientos que en las ejecutadas por el primero, á igualdad de las demás circunstancias: además la fábrica resulta más igual y homogénea, cargando más uniformemente sobre las cimbras. Por estas razones es conveniente su adopcion en la práctica.

Debiendo venir á concurrir en el punto *o* (fig. 337, lám. 14) las caras de hilada en los dinteles y bóvedas planas, se pueden colocar los ladrillos de modo que llenen esta condicion; pero entonces el mayor grueso del mortero en el trasdós exige, por regla general, el acuñado. Otra disposicion que no presenta

este inconveniente y es bastante usada en bóvedas de pequeña luz es la que aparece en la fig. 338.

216. **Bóvedas de mampostería hidráulica.**—Conocidas las propiedades de los morteros formados con cal hidráulica ó con cemento, se comprende desde luego que su empleo debe ser ventajoso para la construccion de las bóvedas, pues que fraguando en poco tiempo, resulta la obra constituida de una sola pieza, cuando se ha quitado la cimbra.

Con este objeto se hace uso de una mampostería hidráulica muy enérgica; pero tomando ciertas precauciones á fin de evitar que por el rápido fraguado del mortero se originen roturas en los arranques, riñones y clave de la bóveda, durante y despues de su ejecucion; roturas ocasionadas casi siempre por el descenso y deformacion que experimenta la cimbra á medida que se la va cargando. Es preciso por consiguiente adoptar algun medio para que en los puntos en que tienden á verificarse las roturas no haya aun fraguado el mortero y se preste por lo tanto á tomar la forma definitiva de la bóveda, sin que perjudique para obtener este resultado que se haya endurecido en los demás puntos.

Para conseguir este fin se ha adoptado en la reconstruccion del Pont-aux-Doubles de París, de 31 metros de luz, 3 de flecha y 1^{m}30 de espesor en la clave, la marcha siguiente, que dió todos los buenos resultados que se esperaban. Se comenzó por dividir la bóveda en cuatro grandes dovelas ó trozos separados entre sí por un intervalo de un metro próximamente (fig. 339), distribuidos uno en cada arranque, otro en cada riñon y el último en la clave. En los intervalos *a* y *b* de los arranques y riñones se estableció un fuerte encajonado de madera, sujeto al entablonado de la cimbra, cuyo objeto era sostener la mampostería de los trozos superiores é impedir que resbalaran sobre el entablonado. Hecho esto, y despues de haber cargado la superficie de la cimbra con gran cantidad de mampuestos, se pusieron suficiente número de albañiles para construir simultáneamente los cuatro grandes trozos, en un espesor aproximado de un metro, apoyándolos en la cimbra y en los encajonados.

Concluida esta primera parte del trabajo se empezó por desmontar los encajonados en longitudes parciales de unos dos metros comenzando por las cabezas y rellenando los claros que

resultaban con mampostería hidráulica. Cerrados de esta manera, y simultáneamente, los cinco claros que se habian dejado, en cuya operacion se invirtieron dos dias, resultó una bóveda completa de 0m 80 á 1m de espesor, el cual se aumentó despues lo conveniente en toda la extension que abraza con nueva mampostería perfectamente ligada á la antigua. Cuando se quitó la cimbra no se notó la más ligera grieta en los arranques y riñones, ni se observó el menor descenso en la clave. Resultados análogos se han obtenido en otras bóvedas de este género, y esto dice bastante en su favor.

217. **Bóvedas de hormigon.**—Cuando se hace uso del hormigon en las construcciones, es preciso contenerlo en un molde que tenga la forma de la obra que se trata de ejecutar, como ya vimos al tratar de los muros, y esto mismo hay que hacer al construir una bóveda.

Este molde puede formarse de madera sobre la cimbra, en cuyo caso el entablonado de ésta forma el fondo, y en las cabezas se fijan convenientemente varios tableros para contener el material; pero la disposicion más frecuente, sobre todo en las grandes bóvedas, consiste en construir las cabezas con sillería, sillarejo, etc., y rellenar despues con hormigon el espacio comprendido por estas cabezas y el entablonado de la cimbra. Para llevar á cabo la ejecucion de estas obras se puede comenzar la construccion dando desde luego á la bóveda el espesor que deba tener, en cuyo caso es conveniente subdividirla en grandes trozos, de una manera parecida á como se acaba de explicar en las de mampostería. Pero es preferible extender sobre la cimbra una capa de hormigon y sobre ésta formar despues el resto de la bóveda con el grueso definitivo que deba tener, siguiendo un procedimiento parecido al de roscas sobrepuestas en las bóvedas de ladrillo. Este último medio tiene la ventaja de cargar las cimbras uniformemente y con menor intensidad, por lo que apenas experimentan cambios de forma, pues la primera capa de hormigon contribuye á darlas un gran aumento de resistencia. Tambien se han construido grandes bóvedas en las que se han hecho de sillarejo, ladrillo, etc., no solo las cabezas si que tambien la rosca de intradós, rellenándose despues el espacio que resulta con hormigon, y cuidando de su buen enlace con las otras fábricas.

Aunque en las bóvedas de gran luz, segun sucede en los puentes, siempre se emplea el hormigon ordinario más ó ménos hidráulico, hay otras construcciones, como suelos, mesetas de escaleras, corredores, etc., en las que se adopta con ventaja el llamado *hormigon Dennett* (a). Este material, bien comprimido, sirve para formar uno ó varios arcos contiguos, cuyas luces varían de 1,80 á 3,60 metros, con espesores respectivos de 0,m075 á 0,m125 en la clave y de 0,m125 á 0,m250 en los arranques. Á causa de la completa homogeneidad de este hormigon y de la resistencia que presenta despues de fraguado, apenas produce empujes laterales sobre los apoyos, y por sus cualidades se le considera como un material á prueba de fuego.

En la ejecucion de las bóvedas de hormigon es preciso tomar todas las precauciones enumeradas al tratar de esta fábrica para conseguir que haya una perfecta union entre todas sus partes, constituyendo una obra resistente y monolita cuando se quiten las cimbras. Las bóvedas, así como las demás construcciones de hormigon expuestas al aire, deberá cuidarse de que no se sequen con demasiada rapidez, lo que ocasionaria agrietamientos perjudiciales á su resistencia, y para conseguirlo se las riega un poco si es preciso, ó se las cubre con telas ó esteras mojadas á fin de conservar alguna humedad.

218. **Bóvedas tabicadas.**—Las propiedades que poseen los morteros de cemento de fraguar con suma rapidez; adquirir una gran resistencia; tener una fuerte cohesion con los materiales y no cambiar de volúmen despues de fraguar, han proporcionado el medio de construir bóvedas de mucha luz y pequeño espesor, haciendo uso del ladrillo puesto de plano, en cuyo caso recibe la bóveda el nombre de *tabicada*.

El sistema de ejecucion es el mismo que el indicado al tra-

(a) Este material se forma con yeso basto ó de inferior calidad, muy mezclado con arcilla, que despues de estar completamente cocido se une, del mismo modo que el mortero en los hormigones ordinarios, con materiales duros y porosos, como escorias, ladrillo partido, etc., bien limpios de polvo. Este hormigon tarda bastante tiempo en fraguar á causa de la gran cantidad de agua que tiene necesidad de absorber el yeso por su completa calcinacion. Una vez fraguado, adquiere tanta dureza como los mejores cementos. El hormigon Dennett es ménos alterable que el ordinario á la accion de los fuegos, lo que unido á su baratura le hace muy recomendable.

tar de las cimbras de ladrillo. En general consta de una ó varias capas sobrepuestas de ladrillo, que se unen entre sí por los cantos, cuidando de que las juntas resulten interrumpidas de una hilada á otra. En muchas ocasiones pueden constituir estas bóvedas los suelos y cubiertas de los edificios, recubriéndolas en el úlimo caso con una chapa de cemento para dar fácil salida á las aguas de lluvia: de todos modos tienen la ventaja de producir empujes muy pequeños sobre los muros ó estribos en que descansan.

Se puede aligerar el peso de estas bóvedas empleando ladrillos huecos ó tubos de alfarería, medio que tiene muy buena aplicacion en las cubiertas de ciertos edificios. En muchos casos, y sobre todo cuando la obra se encuentra en el interior de una edificacion, se suele hacer uso del yeso en lugar del cemento, como sucede en los suelos, escaleras, etc.

Las bóvedas tabicadas se han empleado con buen éxito en las cubiertas de iglesias y grandes talleres; para recubrir los depósitos de agua destinados al abastecimiento de las poblaciones, y en otras obras de análoga naturaleza.

219. **Bóvedas contiguas.**—Cuando insisten dos bóvedas contiguas sobre un solo apoyo intermedio y éste presenta ancho suficiente, se las apareja y ejecuta como si fueran independientes; pero no sucede lo mismo si el ancho del apoyo es menor que el grueso de los arranques de las bóvedas que sobre él descansan. Entonces se ejecuta la primera hilada con sillares, si se emplea esta fáblica, cuyos sobrelechos pertenezcan á ambas bóvedas, para lo cual presentan la inclinacion conveniente (figura 340): esto mismo pudiera hacerse con la segunda hilada; pero ocasionaria gran desperdicio de material, y de ordinario se forma con dovelas que estén en mútuo contacto, llenando en la tercera y sucesivas el claro que resulta con sillares *a*. De este modo quedan enlazadas ambas bóvedas, y el apoyo experimenta tan solo cargas verticales cuando las bóvedas son de igual dimension.

Si la obra es de ladrillo, se adopta en la esencia la misma disposicion (fig. 341), haciendo insistir sobre los arranques únicamente la primera ó primeras roscas, é interrumpiendo las demás antes de su mútuo encuentro, de modo que pueda situarse entre ellas al ménos un ladrillo á tizon *a*, y cortando los inme-

diatamente inferiores con la inclinacion necesaria para el buen asiento de la rosca correspondiente.

220. **Bóvedas compuestas.**—Estas presentan siempre una curva ó aristero, unas veces entrante y otras saliente, que proviene de la interseccion mútua de dos de las bóvedas simples que forman parte de la construccion, como tiene lugar en las llamadas en *rincon de cláustro, pòr arista, lunetos*, etc. El aparejo de estas bóvedas, cuando son de sillería, no presenta dificultad; pero siendo de ladrillo conviene disponer los materiales de modo que haya buen enlace entre las diversas partes de la obra.

Dos sistemas completamente distintos se adoptan con este fin. El primero consiste en colocar como de ordinario los ladrillos en cada bóveda, formando hiladas normales al intradós y prolongarlas hasta su mútuo encuentro (figs. 342 y 343), y el segundo se reduce á interrumpir las hiladas de las bóvedas antes de llegar á los aristeros y aparejar estos con ladrillos puestos normalmente á su direccion (figs. 344 y 345). El aparejo por hiladas contínuas es sin duda alguna mucho más sencillo que el otro; pero aparecen á partir del aristero varias juntas oblicuas en cada bóveda, lo que hace mal efecto á la vista y el indicio de debilidad en la zona en que la obra debiera aparecer más resistente. Mayor resistencia tienen los aristeros cuando se adopta el segundo aparejo; pero si se prolongaran las hiladas normales á ellos hasta los arranques los encontrarian con una marcada oblicuidad, lo que no debe admitirse: por lo tanto, y á fin de reunir las ventajas de ambos sistemas, se prefiere adoptar la disposicion representada en las figs. 344 y 345.

En algunos casos se evita el aparejo de los aristeros sustituyéndolos con estrechos arcos formados de ladrillo, como de ordinario, y sobre los cuales vienen á insistir las bóvedas: estos arcos aparecen con cierta saliente en el intradós y tienen el carácter de refuerzos de la obra, los cuales son de un empleo racional y satisfactorio á la vista. En las construcciones góticas se ha hecho un uso muy frecuente de esta disposicion formando nérvios salientes. Tambien se ha apelado para la construccion de los aristeros, y sobre todo de la clave, al empleo de la sillería y del hormigon, cuidando de disponer de modo estos materiales que se ligue bien con ellos el ladrillo de las bóvedas.

221. **Refuerzos auxiliares.**—Sucede algunas veces en la edificacion que los apoyos de las bóvedas no pueden tener todo el grueso necesario para contrarestar el empuje de aquellas, y en tal caso hay que establecer refuerzos de hierro, unas veces aparentes y otras ocultos, cuya disposicion varía segun los casos.

Si una bóveda en cañon tiende á romperse de la manera indicada en la fig. 346, se puede anular este efecto colocando un tirante horizontal algo más bajo que las juntas de rotura *ab*, *cd*. Se consigue este mismo efecto hasta cierto punto, cuando el tirante no pueda quedar á la vista, rodeando el trasdós segun su seccion recta con un fuerte fleje cuyos extremos se empotren en el pié de los apoyos. Disposiciones análogas se adoptan en las bóvedas por arista y en rincon de cláustro, colocando tirantes á la altura conveniente, ya segun la proyeccion horizontal de los aristeros, ya siguiendo los lados del cuadrado ó rectángulo que cubre la obra; y en las mismas direcciones pueden colocarse por el trasdós los flejes necesarios. En las bóvedas esféricas se situan fuertes cinchos de hierro en el trasdós situados á la altura de las juntas de rotura.

Todos estos medios, que tambien se adoptan cuando hay que proceder á la reparacion de esta clase de obras, pueden evitarse en el dia con el empleo en la construccion de las bóvedas del hormigon y de las fábricas hidráulicas, que, á causa de su resistencia y rápido fraguado, solo actuan con su peso sobre los apoyos en que descansan.

ARTÍCULO IV.

Descimbramiento.

222. **Su objeto y condiciones.**—Se da el nombre de descimbramiento á la operacion de separar la cimbra de la bóveda, y debe verificarse con gran igualdad y lentitud para que el movimiento de descenso de toda la bóveda sea simultáneo y no adquiera una fuerza viva tal que pueda perjudicar las condiciones de resistencia de la obra. Esta operacion no solo debe llevarse con regularidad, sino que deben disponerse de tal modo los aparatos empleados con este objeto que se pueda detener en

un momento cualquiera, ó elevar algo la cimbra, si fuera conveniente, para que actúe de nuevo en la bóveda.

Los procedimientos que se emplean para verificar el descimbramiento son varios, que describiremos en el órden siguiente: 1.°, por cuñas; 2.°, por cremalleras; 3.°, por sacos de arena; 4.°, por cajas de hierro con arena; 5.°, por tornillos; y 6.°, por helizoides.

223. **Cuñas.**—Aun cuando las cimbras de las bóvedas pequeñas pueden separarse y descender destruyendo poco á poco los postes verticales que las sostienen, á cuyo fin se cortan por su pié con el hacha de modo que formen un bisel, y cuando este se aplasta por su pequeña resistencia volviéndole á formar tantas veces cuantas sea necesario, es sin duda demasiado tosco este procedimiento, y carece de la precision y regularidad necesarias para que sea aceptable hoy dia, fuera de algun caso poco importante.

En su lugar se emplean las cuñas para bóvedas hasta de 15^m y aun más de luz, y se disponen como se ve en la fig. 347, en la que *aa* es la carrera sobre que insisten las cerchas, *bb* la que corona los postes verticales, y *cc* los pares de cuñas de encina que se intercalan entre ambas y se aprietan á percusion. Con objeto de que las cuñas no puedan deslizar expontáneamente, se da al plano de contacto una inclinacion de $^1/_5$ á $^1/_6$, y para mayor seguridad se clava á los costados en las carreras unos tacos que solo se quitan en el momento de empezar el descimbramiento. Este se verifica despues de quitar los tacos, golpeando las cuñas por su cabeza menor, lo que permite descender la cimbra en una cantidad fácil de averiguar cuando se conocen las dimensiones de las cuñas. Estas resbalan en algunos casos con dificultad, por cuya razon se dan á veces de antemano con sebo las caras de contacto; pero si el rozamiento es muy pequeño, sucede con frecuencia que al primer golpe para descimbrar sale la cuña como un proyectil, que puede causar desgracias en los operarios, inconveniente que debe evitarse á toda costa.

El descimbramiento se ha de verificar simultáneamente en todas las cuñas para que el descenso resulte igual en cuanto es posible; pero esto no se consigue en la práctica, observándose siempre movimientos bruscos y desiguales que perjudican á la

resistencia y forma de la bóveda. Por este motivo no se emplean las cuñas cuando la bóveda es de alguna importancia, prefiriéndose alguno de los otros métodos más perfectos.

224. **Cremalleras.**—Este procedimiento es en su esencia igual al de las cuñas, y consiste en interponer entre las dos carreras *mn* (fig. 324), cuyas caras contiguas están labradas á redientes, la cremallera, de modo que las caras inclinadas de esta se apliquen en parte sobre las contiguas de las carreras correspondientes. En los claros que resultan entre los resaltos de la cremallera y los de las carreras, que en el dibujo se indican con pequeños rectángulos, se introducen cuñas. Para verificar el descimbramiento se empieza por quitar estas cuñas, golpeando despues en la cabeza de la cremallera de modo que se introduzca entre las dos carreras: de aquí resulta un movimiento de descenso de la cremallera sobre la carrera inferior y de la superior sobre aquella, bajando toda la cimbra.

Se puede subir ésta en una pequeña extension apretando las cuñas, y por este medio se da, al colocar cada cercha, la altura exacta que le corresponde.

Las cremalleras pueden situarse en el plano de las cerchas ó paralelamente al eje del cañon, y en este segundo caso, representado en la fig. 325, se hace doble la cremallera, como se ve en dos proyecciones y en mayor escala en la 348. Las cabezas se mantienen á cierta distancia interponiendo las cuñas *aa*, y cuando se quiere proceder al descimbramiento se ponen en los claros de los redientes unos tacos que solo permiten el resbalamiento en una cuarta parte, por ejemplo, del claro: despues se aflojan las cuñas *a* y baja la cimbra cuanto permiten los tacos. Para seguir la operacion se aprietan las cuñas, se sacan los tacos que se reducen en longitud lo necesario, y volviéndolos á colocar y aflojando aquellas vuelve á bajar la cimbra, repitiéndose estas operaciones las veces necesarias. Así se alcanza un descimbramiento regular y uniforme, pudiéndose emplear con éxito este sistema para bóvedas de 15 á 25^{m} de luz.

225. **Sacos de arena.**—En lugar de las cuñas y las cremalleras se han empleado sacos de 0,^{m}35 de diámetro y 0,^{m}40 próximamente de longitud, hechos con fuerte lona, los cuales están abiertos por sus extremos, y tienen en la parte central un tubito tambien de lona que, como los extremos, se ata perfec-

tamente despues de llenarle con arena de grano igual y de dimension media, limpia y bien seca al sol ó en estufa.

Mientras se construye la bóveda hay entre las dos carreras *aa*, *bb* (figs. 349 y 350) varios calzos ó tacos de madera que sostienen la cimbra, y cuando se va á proceder al descimbramiento se coloca al lado de cada calzo un saco de arena que se aprieta perfectamente entre las carreras por medio de cuñas de encina. Hecho esto, se van aguzando los calzos con el hacha ó la azuela hasta que acaben en filo, los que se van aplastando sucesivamente, hasta que despues de bajar de esta manera 1 ó 2 centímetros la carrera superior, insiste sobre los sacos y se quitan los calzos. Entonces se sitúa un operario al lado de cada saco, y simultáneamente con los demás desata el tubito central, por el que sale la arena hasta que llene una capacidad dada, en cuyo momento se le vuelve á cerrar, repitiéndose esta operacion las veces que sea necesario, y bajando en cada una la cimbra una altura dada.

Estas operaciones se hacen á un tiempo en todos los sacos, y por lo tanto el descenso de la cimbra es igual en todos sus puntos; pero si en alguno de aquellos dejara de salir la arena, se la remueve introduciendo una varilla de hierro ó de madera, que siempre tiene el operario, á fin de que en cada intervalo de tiempo salga de todos los sacos el mismo volúmen.

Una precaucion interesante que debe tomarse en los descimbramientos en general, consiste en colocar al lado de cada aparato de descimbrar una doble cuña cuya cara superior solo diste algunos milímetros de la carrera más alta, y á medida que ésta baja se va tambien bajando á mano aquella. De este modo, aunque se diera el caso de que por una rotura ú otra causa cualquiera tratara la cimbra de bajar bruscamente, tropezaria desde el primer momento con la doble cuña.

Aunque se han propuesto varias modificaciones á los sacos descritos, no se han generalizado por las complicaciones que llevan consigo, y por lo tanto no creemos necesario describirlas aquí.

226. **Cajas de hierro.**—Los inconvenientes que presentan los sacos de poderse romper fácilmente y de humedecerse la arena que contienen, en cuyo caso se dificulta la salida, ha conducido á sustituirlos con cajas de hierro fundido ó de palastro.

Las figs. 351 á 353 representan en proyeccion y secciones ına de estas cajas, que consta de una parte fija *aa*, formada por un ;ilindro hueco de palastro de 2 á 5 milímetros de grueso, que se ıpoya en una tabla cuadrada. Este cilindro tiene en su parte in-ferior cuatro aberturas circulares con tubos, que se tapan con una ;abilla de madera, y su interior se llena con arena, preparada co-no se ha dicho en el caso anterior. La parte móvil de la caja se ;ompone de un cilindro de encina *bb*, que éntra como émbolo en ıl de palastro, dejando entre uno y otro un pequeño hueco que ıe tapa con un poco de yeso para evitar que entre la humedad ıxterior.

El aparato cuya altura total es de 0,^{m}50 á 0,^{m}60, termina uperior é inferiormente en dos fuertes tablas de madera dura ue actúan sobre las carreras respectivas, y la escursion del mbolo suele ser de 0,^{m}15 á 0,^{m}20.

Puede verificarse la colocacion de las cajas desde el momen-ɔ en que se arma la cimbra , si bien esto tiene el inconvenien-e de que sometidas por bastante tiempo á la influencia de la .umedad, se moja la arena. Lo más frecuente es colocarlas uando se va á verificar el descimbramiento, habiéndose hasta ntonces mantenido por medio de calzos la separacion entre las arreras, y procediendo en estas operaciones análogamente á lo icho al tratar de los sacos de arena.

Puestas las cajas en su sitio, se sitúa al lado de cada una un brero, con una varilla de hierro para remover la arena, si fue-ɜ necesario, y una tableta. A una señal dada, todos destapan n tubo y se forma con la arena vertida un cono que va eleván-ose hasta que él mismo cierra la boca del tubo de salida, y en-ɔnces destapan al mismo tiempo el tubo opuesto, en el que se erifica el mismo fenómeno, continuándose la operacion en los tros dos tubos. En este estado quitan con la tableta el primer ɔno que se formó, el cual vuelve á reproducirse con nueva are-a de la caja, y sucesivamente hacen lo mismo con los otros ·es, ocasionándose de esta manera y repitiendo estas operacio-es, un descenso lento y regular en los émbolos de todas las ca-ıs: esta regularidad se comprueba marcando de antemano en émbolo, á partir desde el borde del palastro, ciertas divisiones, viendo si en cualquier momento de la operacion han pasado mismo número en todas las cajas.

El descimbramiento con cajas de arena ha dado buenos resultados aun en los puentes de grandes luces.

227. **Tornillos.**—Otro sistema que presenta ventajas sobre los anteriores, es el de los tornillos, los cuales pueden colocarse desde luego cuando se monta la cimbra, ó, lo que es preferible, solo se sitúan cuando se va á proceder al descimbramiento, sosteniéndose hasta entonces con tacos ó cuñas ordinarias. La sustitucion de las cuñas por los tornillos tiene lugar colocando éstos al lado de aquellas y haciendo girar á los primeros hasta que actúen sobre las dos carreras que los comprenden, en cuyo caso se quitan fácilmente las cuñas, y la cimbra se apoya tan solo en los tornillos. La fig. 354 hace ver cómo se dispone la operacion, que es muy semejante á cuando se emplean sacos de arena.

La forma de los tornillos es muy variable, y las figs. 355 á 357 representan una en que la tuerca *aa* sube ó baja girando alrededor de la rosca fija *bb*: esta tuerca, en forma de campana, acaba inferiormente en un prisma á cuyas caras se aplica una llave para moverla. Otra disposicion, por la cual se evita el rozamiento de la tuerca con la carrera superior, es la que aparece en la fig. 358, que consiste en dos tornillos fileteados en sentido contrario y unidos por la tuerca *ab*. Los primeros terminan en una cabeza cuadrada que entra un poco en las tablas *c* y *d*, y la segunda tiene aberturas laterales por las que se entra una palanqueta que da el movimiento de rotacion. Segun sea el sentido de éste, los tornillos se aproximan y la cimbra desciende, ó se separan aquellos y ésta sube, volviendo á actuar sobre la bóveda.

Conocido el juego de los tornillos, fácilmente se comprende la operacion del descimbramiento, que se reduce á situar al lado de cada tornillo un operario, los cuales á una señal convenida hacen girar 180° la llave ó la palanqueta que mueve las tuercas, verificándose el descenso con perfecta regularidad. Si conviniera interrumpirle ó volver á elevar algo la cimbra, basta dejar de mover las tuercas ó hacerlo en sentido contrario para conseguirlo.

Estas ventajas, unidas á la facilidad en su colocacion, al pequeño volúmen que ocupan, á la mayor seguridad que proporcionan, y á su costo, relativamente reducido, hacen que se empleen con preferencia á los demás sistemas.

228. **Helizóides.**—Una modificacion de los tornillos es el aparato empleado en el puente-viaducto de Nogent-sur-Marne y representado en la fig. 359.

Consiste en una superficie helizoidal de plano director *abc*, de hierro fundido, sostenida por nérvios del mismo metal, é insistiendo todo en una plancha circular de fundicion *df*. Esta se apoya en tres rodillos que se dirigen hácia el centro de la misma, de modo que todo el aparato puede girar alrededor de su eje vertical. Por otra parte, los apoyos verticales *g* de cada cercha estaban sostenidos por una carrera *h*, á cuya cara inferior se fijaba una pieza de fundicion con dos orejas atravesadas por el eje de la ruedecilla *r*.

Si por medio de palanquetas, que se introducen en aberturas practicadas en el cilindro vertical que sostiene el helizóide, se hace girar á éste alrededor de su eje, la ruedecilla bajará verticalmente, como rodando en un plano inclinado que se moviera, y otro tanto sucederá á la cimbra.

Este aparato, que se ha empleado raras veces, es de fácil instalacion y manejo; pero en cambio es bastante más voluminoso que los tornillos, una tercera parte más caro, y sobre todo ménos seguro, puesto que toda la carga superior actúa aquí en pequeñas superficies como la de contacto entre el eje de la ruedecilla y las placas laterales, ó la de la llanta de la misma con el helizóide, al paso que en los tornillos hay siempre una superficie de contacto mucho mayor entre las roscas y las tuercas.

229. **Epoca del descimbramiento.**—Es muy difícil fijar esta época, que depende de las dimensiones de la bóveda, de los materiales empleados y esmero en la mano de obra, de la estacion del año en que se haya de verificar y de otras varias circunstancias. Por regla general puede establecerse que al verificar el descimbramiento deberá estar bastante adelantado el fraguado de los morteros; porque si estuvieran muy frescos y fueran pequeños los materiales podria hasta desplomarse la obra al quitar la cimbra, ó por lo ménos se produciria un asiento muy pronunciado; y si, por el contrario, hubieran fraguado completamente, se agrietarian al verificarse el movimiento de descenso, que siempre tiene lugar cuando se quita la cimbra, y se podria tambien ocasionar á veces la ruina de la obra.

Por estas razones, se admite que en las bóvedas construidas con morteros de buena cal hidráulica, el descimbramiento puede verificarse de uno á dos meses despues de haberlas cerrado: si el mortero es de cemento que fragua con lentitud, podrá tener lugar á los quince ó veinte dias, y si fuera de fraguado rápido se reduce el plazo á cuatro ó seis. Estos plazos disminuyen á medida que se reduce la luz de las bóvedas, llegando en algunos casos á descimbrarlas poco despues de haberlas cerrado.

230. **Demolicion de las cimbras.**—Despues de verificado el descimbramiento se procede á quitar la cimbra, para lo cual se empieza por separar las correas, riostras y contravientos de la primera cercha, la cual se desmonta despues pieza á pieza ó se baja entera, de la misma manera que se la colocó en obra. Si las cerchas se han de emplear en otra obra, se marcan y numeran las piezas que componen cada una, para que se puedan armar de nuevo sin dificultad.

De todos modos, si las cimbras son de grandes dimensiones, es indispensable contraventear provisionalmente cada cercha, antes de quitar todas las riostras, mientras se la desarma ó se la baja, segun los casos.

El resto de piés derechos y demás se desmonta como se dijo en los andamios.

ARTÍCULO V.

Trabajos complementarios.

231. **Ideas generales.**—Por regla general, la construccion de las bóvedas tiene por objeto proporcionar en su parte superior una superficie horizontal, como sucede en los suelos de los edificios, puentes, viaductos, etc., y para alcanzar este fin es preciso elevar, de la manera más conveniente en cada caso, la fábrica de los arranques hasta que llegue á la altura del trasdós de las claves. Al propio tiempo, y muy principalmente cuando las bóvedas están espuestas á la accion directa de las lluvias, es indispensable en la generalidad de los casos impedir que éstas penetren á través de la fábrica, que podrian des-

truir ó á lo ménos perjudicar, comprometiendo la existencia de la obra.

Las diversas operaciones que sirven para conseguir estos resultados reciben el nombre de *trabajos complementarios de las bóvedas* y solo se realizan despues de haberlas descimbrado y cuando no sean de temer ulteriores asientos de importancia; pues de lo contrario seria preciso esperar para ejecutarlos á que se hubieran endurecido los morteros lo bastante para no temer nuevas deformaciones.

Entremos en la descripcion de estos trabajos en el órden en que generalmente se ejecutan.

232. **Tímpanos.**—Despues de descimbrar una bóveda, ó varias contiguas, se procede á construir en el plano de las cabezas y apoyándose en la misma bóveda dos muretes que llenen el espacio comprendido entre los trasdoses y la horizontal que pasa por la clave. Estos muretes, llamados *tímpanos*, tienen vertical su paramento, que por lo regular está algo más entrante que las cabezas de la bóveda.

Su construccion no presenta ninguna dificultad y la fábrica de que se componen es por lo regular ménos resistente que la de la bóveda, á fin de que haya entre ellas cierta armonía, con relacion al destino que cada una debe llenar. Cuando el tímpano se construye de sillarejo ó ladrillo y el trasdós de las cabezas de la bóveda se limita por planos horizontales y verticales, se dispone el primero escalonado, como se ve cerca de los arranques en las figs. 324 y 326; pero si el trasdós de la bóve da es una curva contínua hay que dar á los materiales del tím pano una forma apropiada, lo que aumenta el trabajo de su ejecucion y no liga tan bien estas dos partes de la construccion. Cuando el tímpano se ejecuta de mampostería más ó ménos irregular, como muchas veces se hace, se puede unir fácilmente con la bóveda, aunque sea curvo su trasdós.

El intervalo ó depresion que resulta entre los dos tímpanos y la bóveda se rellena algunas veces con buena tierra franca, bien apisonada, en cuyo caso se construye antes la contrarosca en el trasdós, segun veremos dentro de poco. Otras veces se forma el relleno con mortero magro ó que contenga poca cal, que constituye una masa compacta é incompresible, sobre la cua se construye la contrarosca, como aparece en la fig. 325.

Sin embargo, la disposicion que en el dia se usa con más frecuencia consiste en dejar hueco el espacio comprendido por los tímpanos, á fin de no cargar los apoyos con un gran peso innecesario. Para esto se construye en el referido espacio, y apoyándose en la bóveda, varias bóvedas pequeñas y contiguas cuyos ejes son unas veces paralelos y otras perpendiculares al de la bóveda principal. Igualado el trasdós de estas bovedillas se le recubre, así como el de la bóveda que está por encima, con la contrarosca. De ordinario se acusa la existencia de las bovedillas en el paramento de los tímpanos, lo cual no presenta dificultad cuando su eje es paralelo al de la principal: si fuera perpendicular se puede indicar la existencia del hueco fingiendo un ojo de buey, ó por otro medio parecido,

233. **Contraroscas.**—Esta parte de las bóvedas tiene por objeto recubrir su trasdós con una capa impermeable, á fin de que el agua superior no pueda filtrarse á través de la fábrica, y alterar su resistencia. Demás está decir que cuando la obra no está sometida á esta influencia, como de ordinario sucede en el interior de las edificaciones, puede desde luego suprimirse la contrarosca.

En rigor esta construccion no es más que un enlucido que cubre el trasdós, y se compone por lo regular de dos capas sobrepuestas formadas con morteros más ó ménos hidráulicos. Para ejecutarlas se empieza por descarnar las juntas de la fábrica de la bóveda en una profundidad de 10 á 15 milímetros, y despues de lavadas se extiende la primer capa de mortero con un espesor aproximado de un centímetro, cuidando de que no se seque con demasiada rapidez y cerrando cuantas grietas puedan formarse. Terminada y seca la primera capa se extiende la segunda con las mismas precauciones, y se repasa su superficie hasta que resulte bien lisa. A veces se aumenta el grueso de estas capas hasta formar entre las dos un espesor de 6 centímetros. Cuando las capas están bien ejecutadas llenan completamente su objeto, si bien en algunos casos y para mayor seguridad se satura la capa exterior con brea mineral bien caliente ó aceite de linaza hirviendo.

Otro sistema muy empleado en el dia consiste en formar una capa de mortero de 2 á 3 centímetros de gruesa, y sobre ella extender otra de asfalto ó de mastic asfáltico, de la mitad

ó poco más de espesor, cuidando de soldar bien los trozos entre sí á fin de que resulte una capa contínua, y en tal caso debe cuidarse de que esté perfectamente seca la fábrica inferior para que no se ocasionen ampollas entre ambas. El buen asfalto tiene la ventaja, á causa de su elasticidad, de prestarse á seguir sin agrietarse los pequeños movimientos que la fábrica pueda experimentar. Esta propiedad, que no poseen los morteros despues del fraguado, le hace recomendable siempre que no resulte muy costoso.

La cara superior de la contrarosca no deberá formar una superficie cilíndrica, aunque tal sea el intradós de la bóveda, sino que es conveniente elevarla algo cerca de las cabezas y de los tímpanos, á fin de que el agua que reciba tienda á marchar al centro de la bóveda. Recubriendo con otra capa análoga el aligeramiento de los tímpanos, cuando exista, resultará en su mútua interseccion un punto bajo, en el cual se establece la salida del agua al exterior de la construccion, como veremos despues. La union de la contrarosca con los muretes de los tímpanos debe verificarse con esmero, á fin de que por ella no pueda llegar agua alguna á la bóveda.

Las contraroscas deberán ejecutarse un año despues de descimbrada la bóveda, á no ser que haya urgencia en su pronta terminacion ó sus dimensiones sean poco considerables; y despues de construidas, que de todos modos será cuando no se esperen nuevos asientos en la bóveda, se las recubre con una capa de piedras ó ladrillos partidos, formando un grueso de 7 á 8 centímetros, á fin de facilitar la marcha de las aguas filtradas. A medida que se van poniendo las piedras partidas se forma el terraplen por tongadas de poca altura y bien apisonadas hasta llegar á la parte superior de la bóveda, resultando así la construccion terminada por una superficie horizontal. Hay que cuidar de no perjudicar la contrarosca al apisonar el terraplen.

Cuando la bóveda haya de estar cubierta con un tejado se adoptará una de las disposiciones que se reseñarán al tratar de las cubiertas.

234. **Mechinales.** Durante la ejecucion de la fábrica de la bóveda, y en los puntos más bajos que hemos dicho presentan las contraroscas, se dejan en la primera y normalmente al intradós, unos taladros próximamente cilíndricos de 5 á 8 ó 10

centímetros de diámetro, los cuales sirven de mechinales, del mismo modo que se dijo al tratar de los muros. Estos taladros se revisten con tubos de hierro, de plomo ó mejor de zinc, que se unen con mortero hidráulico á la bóveda y contrarosca, á fin de impedir el paso del agua; y con objeto de que el líquido filtrado que pase por su interior y pueda helarse cuando la temperatura atmosférica sea muy baja no se adhiera á las paredes del tubo, se le da á éste una forma cónica ensanchada hácia el extremo inferior.

Se debe evitar que las tierras del terraplen puedan verse arrastradas por las filtraciones, lo que ocasionaria en éste asientos considerables, ó podria obstruir la entrada al mechinal, y con este objeto se cubre su boca con una placa de metal llena de pequeños agujeros, sobre la cual se colocan piedras ó ladrillos partidos que sirvan de materia filtrante. Esta placa conviene que esté bien unida á la contrarosca y enrasando con su superficie, al paso que el extremo opuesto del tubo deberá salir algo en el intradós de la bóveda, á fin de que el agua filtrada no pueda lavarle.

Cuando la bóveda no deba estar recubierta de tierra, como tiene lugar en muchas edificaciones, se construye la contrarosca como se ha dicho y en los puntos bajos se establecen en unos casos mechinales ó canalones, y en otros tubos de bajada que, adosados al paramento de los muros, proporcionan en su parte inferior una fácil salida al exterior de las aguas de lluvia. Tambien se dejan á veces con este objeto, en el interior de los muros ó apoyos, verdaderas chimeneas de seccion cuadrada, que tengan de 20 á 30 centímetros de lado, cuyo interior se reviste con un enlucido de mortero eminentemente hidráulico, que se establece con esmero y se alisa con la paleta. De la disposicion de los tubos de bajada nos ocuparemos con más detalles al tratar de las cubiertas.

235. **Asiento de las bóvedas.**—La medida exacta del asiento de una bóveda despues de su descimbramiento es una operacion que entraña sumo interés para apreciar sus condiciones de resistencia y el esmero de su ejecucion. El asiento completo no se verifica al descimbrar, sino que va creciendo por espacio de varios dias cuando se emplean morteros ordinarios; pero con los de cemento adquiere en pocas horas su valor defi-

nitivo. Con morteros de la primera especie se tiene á veces, cuando se descimbra muy pronto, asientos que llegan á 8 y 15 centímetros en las bóvedas de 30 metros de luz (a), al paso que con los de la segunda rara vez llega á la primera cifra (b).

Para determinar su valor se ha hecho uso algunas veces de una nivelacion verificada antes y despues del descimbramiento; pero este medio presenta algunos inconvenientes, y el principal es que no deja visible el efecto que se trata de medir. Un procedimiento preferible consiste en colocar en frente de la clave, y á corta distancia, una pieza de madera vertical, bien fija al terreno, y en el intradós de la misma una regleta horizontal: á medida que ésta baja por el asiento, se marca en la vertical de cuando en cuando su punto de enrase, y así se tiene la medida y las épocas de los descensos.

Por último, y prescindiendo de otros medios más complicados, se puede obtener el valor que se busca, trazando en las cabezas, y hácia la mitad de la altura de las claves, una línea horizontal, de cuyos extremos parten otras dos inclinadas, que sean sensiblemente normales á las juntas de rotura. Estas tres rectas se deforman despues del descimbramiento, segun aparece de trazos en la fig. 328, y es fácil medir el valor del asiento en cualquiera época: además, las líneas deformadas hacen ver que las claves de la bóveda descienden al paso que se ensanchan los riñones.

236. **Observacion.**—De la buena ejecucion de la contrarosca y mechinales depende en gran parte la solidez de las bóvedas cuando están directamente expuestas á las lluvias. En las bóvedas contiguas, como sucede en los puentes, basta poner un mechinal en cada tímpano para sanear las dos semibóvedas adyacentes, y en tal caso se da á la parte de contrarosca que cubre el aligeramiento una pequeña inclinacion al punto que haya de ocupar el mechinal.

(a) El puente de Neuilly, de 39 metros de luz, rebajado el cuarto y descimbrado veinte dias despues de concluido, experimentó despues un asiento de 30 centímetros.

(b) En el viaducto du Point-du-Jour, de 30 metros de luz, se ha empleado mortero de cemento de Portland (1 de cemento por 3 de arena) y se descimbró treinta dias despues de terminado, experimentando un asiento de 1 centímetro.

En la construccion de las bóvedas, principalmente cuando son de gran luz y numerosas, como tiene lugar en los puentes de importancia, hay que examinar atentamente la mejor organizacion de los trabajos, de la cual depende el mayor ó menor coste de la obra. Esta organizacion se establece con arreglo á los principios consignados en el capítulo IV de la primera parte, y se refiere, no sólo al número y distribucion de los operarios, sino al órden en las manipulaciones que deben experimentar los materiales hasta el momento de ponerlos en obra. Una disposicion que se adopta cuando hay muchas bóvedas iguales y contiguas, no siendo de gran luz, consiste en montar las cimbras en las tres primeras de un extremo y construir su fábrica de modo que cuando la primera esté para cerrarse se encuentre la segunda hácia la mitad, y la tercera en la junta de rotura próximamente: hecho el cerramiento de aquella y descimbrada á su tiempo, se trasporta la cimbra á la cuarta, y se prosigue la obra respecto á la nueva posicion, del mismo modo que se verificó en la anterior. De este modo pueden construirse con solo tres cimbras muchas más bóvedas contiguas; pero deberá cuidarse mucho de que las primeras no sean flexibles, y de que el cerramiento de una de las segundas no afecte á la construccion de las inmediatas que están sin cerrar.

Por último, en la ejecucion de esta clase de obras es conveniente llevar un cuaderno diario, en el que se anoten con detalle la naturaleza de los trabajos ejecutados y las mediciones practicadas, á fin de conocer la marcha de la construccion y poder juzgar de sus condiciones de resistencia.

CAPÍTULO IV.

Suelos.

237. **Su objeto y partes de que constan.**—Los suelos son construcciones horizontales que dividen el interior de un edificio en habitaciones sobrepuestas ó pisos, y se apoyan en los muros ó paredes que los circundan. Su objeto es proporcionar en la cara superior una superficie continua destinada al tránsito y aislar las habitaciones de las superior é inferiormente situadas.

Las condiciones generales que deben llenar los suelos son: poseer la resistencia necesaria sin gran exceso de espesor; ser

económicos; poco sonoros, poco vibrantes, y lo más impermeables posible á la humedad y á los miasmas exteriores.

Ordinariamente se componen de cuatro partes principales, llamadas *entramado, relleno ó forjado, pavimento y techo.* Segun se adopte cada una de estas partes como término de comparacion, se pueden dividir los suelos de muy diversas maneras; pero aquí nos limitaremos á estudiarlos examinando cada una de estas partes en el órden en que se han expuesto. Como el entramado es la parte esencial de todo suelo, se acostumbra clasificar á estos con arreglo á la naturaleza del material de aquel, y así se dice, suelos de fábrica, de madera y de hierro, por más que en cada caso se combinen estos materiales y entren otros especiales en su construccion.

ARTÍCULO I.

Entramados.

Se da el nombre de entramado á la superficie contínua ó red de piezas que, convenientemente apoyadas en los muros ó paredes de recinto, sirven para sostener las demás partes que forman el suelo y las cargas accidentales.

Los entramados pueden ser de fábrica, de madera ó de hierro, segun sean las circunstancias y dimensiones de las superficies que han de ocupar, y la facilidad ó economía con que se puedan adquirir estos materiales.

238. **Entramados de fábrica.**—La parte principal de muchos suelos está formada por bóvedas más ó ménos ligeras, de las que ya nos hemos ocupado; pero conviene advertir aquí que deben ser siempre bastante rebajadas, á fin de reducir en cuanto sea posible el espesor del suelo y aumentar la altura útil de las habitaciones.

239. **Entramados de ladrillo.**—Para disminuir el peso y el empuje que ocasionan estas bóvedas se las construye ordinariamente con una ó más roscas de ladrillos, ya ordinarios, y mejor huecos, puestos de plano y ligados entre sí con buen yeso ó mortero de cemento. La forma de estas bóvedas es muy variable, aunque la más generalizada sea la cilíndrica, cuyas generatrices son paralelas á los lados mayores del rectángulo que

han de cubrir, y algunas veces se las limita en sus extremos por otras del mismo género, que forman con la primera bóvedas en rincon de cláustro. Pero dadas las dimensiones ordinarias de las habitaciones, y aun cuando se rebajaran bastante estas bóvedas, habrian de resultar los suelos con demasiado espesor, sobre todo en los arranques; lo que unido á su mayor costo ha hecho que en los edificios ordinarios se limite su aplicacion á cubrir las cuevas ó sótanos, y solo en los suntuosos y cuyos muros de recinto tengan el conveniente espesor se emplean en los pisos superiores.

Nada tenemos que decir de nuevo respecto á la construccion de estas bóvedas, que se ejecutan con las precauciones ya indicadas; pero en el caso de cubrir sótanos es conveniente que la temperatura de éstos se conserve, tanto en verano como en invierno, casi constante y entre 12° y 16° centígrados y que puedan recibir al propio tiempo la luz y ventilacion necesarias del exterior, para que no contengan humedad. Con este objeto se dejan lumbreras ó tragaluces que aparecen al exterior en el basamento de la fachada, como se ve en corte en la fig. 360 (lam. 15) y aunque su forma es muy variable, se puede casi siempre seguir la misma marcha para su ejecucion.

Ordinariamente están limitadas estas aberturas por planos, y para fijar la posicion de éstos supondremos que se ha llegado con las hiladas del muro hasta la altura *c*, donde ha de empezar el tragaluz. Se enrasa horizontalmente la arista *c*, *c'c'* (figuras 361 y 362) y despues se colocan dos listones ó reglas horizontales *ff*,' de manera que sus aristas superiores situadas hácia el interior, se encuentren en el mismo plano vertical y coincidan con las aristas *b* y *d* de la fig. 360, que fijan la posicion de los planos del tragaluz. A este fin se colocan dos listones *m m'* en posicion vertical, que se fijan con pelladas de yeso á clavos *gg'* puestos cerca del borde de la zanja *hh*, y en las reglas *ff'* se señalan con muescas los puntos *bb'* y *dd'* que determinan el ancho del tragaluz por la parte superior, y para la inferior se clavan en la fábrica los clavos *cc'*. Tendiendo despues dos cordeles *cd*, *c'd'* sirven de guia en la ejecucion del plano inclinado inferior y determinan los ángulos entrantes inferiores *cd*, *c'd'*. El plano inclinado superior y sus ángulos entrantes se fijan igualmente por dos líneas *ab*, *a'b'*, sujetas por un extremo en el lis-

ton superior *f* y por el otro en clavos *aa'* que se implantan en el entablonado de la cimbra destinada á la construccion de la bóveda. En algunos casos se da á la parte superior del tragaluz la forma de bóveda cónica, penetrando en la del sótano.

Estos entramados tienen una aplicacion limitada en los casos ordinarios, segun hemos dicho anteriormente.

240. **Entramados de madera.**—Los entramados de madera se componen de vigas y viguetas, recibiendo éstas los nombres de *cábios* ó *maderos de suelo,* y disponiéndose estas diversas piezas de muy distintas maneras, segun sea el alejamiento y disposicion de los muros sobre que insisten; pero todas pueden reducirse á dos tipos, ya se empleen únicamente viguetas, ó ya estén combinadas con vigas.

241.—**Entramados de cábios.**—Todas las piezas que forman este entramado tienen próximamente la misma escuadría é insisten unas veces sobre los muros y otras sobre puntos de apoyo que mútuamente se prestan.

En el primer caso se colocan los cábios ó viguetas normalmente á los lados mayores del espacio que han de cubrir, el cual suele ser de forma rectangular. La fig. 363 representa diversas disposiciones en las que los cabios insisten sobre muros ó entramados, tal como aparecen en los córtes que en mayor escala la acompañan por la parte inferior.

En el suelo señalado con la letra *A*, los cábios se apoyan sobre entramados verticales. En el *B* están empotrados por ambos extremos en los muros. En el *C* insisten sobre carreras *d* empotradas en las paredes; y aunque en el *D* tambien se apoyan en carreras, éstas no se encuentran embebidas en los muros, sino sostenidas en canecillos *p* de piedra, madera ó hierro empotrados en los muros, segun aparece en el corte inferior, disposicion que se adopta pocas veces. Por último, en el *E* hay solo un cierto número de cábios *nn* que tienen ambos extremos empotrados en los muros, y los demás *mm* lo verifican solo por un extremo y por el otro se ensamblan á piezas *xy*, llamadas *brochales*, que á su vez se unen á los cábios. A las piezas *mm* se da el nombre de *maderos cojos*.

En rigor, se puede formar un suelo empleando únicamente maderos cojos y brochales, en cuyo caso los segundos se ensamblan desde luego con los primeros. Esta disposicion se ve indi-

cada por la prolongacion de puntos del brochal *xy* hasta los maderos cojos *mm*, suprimiendo los cábios *nn*, y de esta manera se pueden construir entramados con maderos que no tengan más longitud que los $^2/_3$ del ancho del suelo. Otra variante que llena la misma condicion se ve en la fig. 364, donde solo entran maderos cojos *a* y *o* que presentan una pequeña oblicuidad en sentido contrario con respecto á los muros. Los maderos del sistema *a* están empotrados por un extremo en el muro, y por el otro se ensamblan en un punto intermedio de los del sistema *o*, y éstos á su vez están en las mismas condiciones respecto á los *a*. En razon á la gran oblicuidad con que se encuentran las piezas, las ensambladuras resultan muy largas; y para evitar la debilitacion que esto produciria, no se da á las cajas más profundidad que $^1/_3$ del ancho horizontal de las piezas, consolidando la union por medio de pequeños pernos: de todos modos no es recomendable esta disposicion.

Estos entramados se pueden variar de muchas maneras, siendo un caso notable el representado en la fig. 365, que pertenece á un palacio de recreo del Rey de Holanda, ejecutado en una sala de $19^m,50$ de lado y en cuya composicion no entran más que trozos de cábios de roble cuya longitud es de unos 2 metros por $0,^m30$ á $0,^m35$ de escuadría. Uno cualquiera de estos maderos, *c*, por ejemplo, descansa por sus dos extremos en rebajos practicados en los maderos *b* y *f*, y á su vez tiene aquel en su parte central otros dos rebajos sobre los que insisten los maderos *a* y *d*. Todas las piezas que se apoyan en los muros entran en rebajos hechos á las carreras *D A B*, que coronan los muros de la sala y se encuentran empotradas en la fábrica. Como ejemplo notable de construcciones de esta naturaleza, ejecutado con piedra, debe citarse la bóveda plana del átrio que da ingreso al templo del Escorial, construida á mediados del siglo XVI por Juan de Herrera, y cuyo aparejo y disposicion se estudia en la Estereotomia (a).

Los entramados que se acaban de describir, lo mismo que

(a) Juan de Herrera, célebre arquitecto español, discípulo de Juan Bautista de Toledo, nació en Mobellan de Astúrias en 1530 y se distinguió dirigiendo la construccion del Escorial á la muerte de su maestro, y otras muchas obras notables. Murió en 1597.

los formados con maderos cojos, se establecen sobre un andamio ó especie de cimbra, mientras se ensamblan y fijan sólidamente las piezas que los componen, dándoles un pequeño peralte en la parte central á fin de que el asiento que tiene lugar despues de descimbrados no dé orígen á una superficie convexa, vista desde abajo, lo que produce un efecto desagradable (a).

242. **Entramados de vigas y viguetas.**—La disposicion general de esta clase de entramados consiste en una ó varias vigas de fuerte escuadría, que unas veces se apoyan por ambos extremos sobre los muros, conservándose paralelas, y otras solo lo verifican por un extremo, ensamblándose mútuamente por el otro. En ambos casos puede decirse que hacen el papel de muros, y sirven de apoyo á los extremos de las viguetas del suelo.

243. **Sistema de tramos.**—La fig. 366, acompañada de tres cortes en escala doble, representa en proyeccion horizontal un suelo en que las vigas del entramado son paralelas entre sí, del mismo modo que las viguetas. En *F*, éstas se apoyan por un extremo en el entramado vertical *mr*, y por el otro en la viga *b*, que á su vez descansa en los entramados *mq* y *nr*. Las viguetas *c* se apoyan por un extremo sobre la viga *b*, y por el otro se empotran en la pared divisoria *qr*. Como los extremos de las vigas tienen que sufrir una carga mucho mayor que los de las viguetas, conviene reforzar las paredes en los puntos de apoyo de las primeras: así, cuando éstas son de entramado, será bueno que insistan aquellas sobre un fuerte poste, al que se suele dar mayor escuadría que á los demás, y á veces se le refuerza con jabalcones. En este caso debe tambien tenerse en cuenta que los extremos de las vigas se encuentran á un nivel inferior que los de las viguetas, de modo que éstas, al llegar á los

---

(a) Para determinar la superficie peraltada que se adopta durante la construccion de los suelos representados en la fig. 365, se eleva el centro de éstos la misma cantidad que se calcula ha de bajar por el asiento, y por este punto elevado y teniendo sus centros en la vertical que pasa por él, se traza un sistema de arcos de círculo que tengan sus arranques en el contorno interior del marco horizontal que forman las soleras sobre que descansa el suelo. Recibe el nombre de *superficie de vela* la engendrada de este modo.

muros de entramado, deberán apoyarse en sobre-carreras para que tengan una posicion horizontal.

Si se quiere hacer el suelo aún más invariable, se pueden poner en los ángulos los *cuadrales gg*, ensamblándolos por un extremo sobre la carrera del entramado, y por el otro en las viguetas *a*, sujetas con pernos ó remaches á los postes *p*. Sobre estos cuadrales se pueden ensamblar por un lado las viguetas del piso, y por el otro los *cuartones d*, ó mejor pueden servir solamente de apoyo á las viguetas, que entonces tienen la misma longitud que las de la parte central.

En la zona *G* las viguetas *f* están empotradas en la pared *qr* por un extremo, y por el otro entran en rebajos practicados en la viga *i*. Las viguetas *h* se apoyan únicamente en vigas, pudiéndose de esta manera continuar el suelo hasta llegar al muro paralelo al *qr*, que puede estar á mucha distancia.

Al llegar á la viga *b*, las viguetas se apoyan por encima tocándose sus extremos ó cabezas. En la viga *i* entran, como ya se ha dicho, en todo ó solo en parte, en los rebajos que presenta; disposicion que tiene por objeto reducir el grueso del suelo, si bien tiene el inconveniente de disminuir la resistencia de la viga. En la *y* se apoyan las viguetas sobre dos tablones laterales fijos á la primera por estribos ó pernos, y de esta manera se debilita poco ó nada la viga, aunque éste es un sistema algo más caro que el anterior. Por último, en la viga *z* se cruzan ó solapan las viguetas, y es conveniente adoptar esta disposicion siempre que la viga tenga poco ancho horizontal para que se puedan practicar rebajos, ó apoyarse en bastante superficie las viguetas puestas al tope, como en la viga *b*.

Aunque se han reunido en la misma figura disposiciones diversas, demás está advertir que en la práctica se adopta y sigue generalmente una sola, con arreglo á las condiciones de cada caso.

144. **Sistema de Serlio** (1).—Otro sistema fundado en el principio de la mútua union de las vigas maestras y que ha recibido el nombre de su autor, consiste en colocar tres ó cuatro

(1) Sebastian Serlio, hábil arquitecto italiano, nació en Bolonia en 1528, y murió en Francia hácia 1552.

vigas (figs. 367 y 368) de modo que por uno de sus extremos se apoye cada una, tal como *ab*, en los muros, y por el otro sobre otra viga *cd*, que á su vez insiste del mismo modo sobre una tercera, siguiendo de esta manera hasta cerrar en el centro un espacio. Los claros que resultan se rellenan con cabios *fg* paralelos á las vigas maestras, y en el espacio central se colocan otros cabios, como se ve en las figuras. Estos suelos exigen por lo regular vigas estrechas en el sentido horizontal y muy altas, á fin de que tengan en las ensambladuras la resistencia necesaria, con cuyo objeto se pueden tambien reforzar con herrajes.

245. **Sistema poligonal.**—Entre los suelos formados con vigas y viguetas hay otro sistema en que las primeras, sin ser paralelas, presentan disposiciones sumamente variadas, dependientes no solo de las dimensiones que tengan las piezas de que se puede disponer, sino tambien de la forma que afecte el recinto que se ha de cubrir.

Aunque en el dia han perdido gran parte de su importancia esta clase de suelos, por poderse reemplazar ventajosamente la madera por el hierro, se indicará no obstante algun ejemplo de las principales disposiciones.

La fig. 369 es el plano de la mitad de un suelo poligonal. Los cuadrales *a* que descansan por sus cabezas en los muros, sirven de apoyos á los brochales *b*, *c*, *d*, *e*, *f*... paralelos alternativamente á los muros y cuadrales. Los claros triangulares que resultan entre éstos y aquellos se rellenan con cuartones paralelos á unos ó á otros y lo mismo se hace con cabios *m* en los intervalos que resultan entre los polígonos. Aunque los cuartones y cabios tienen la misma escuadría, no sucede lo mismo con los brochales, en los que va disminuyendo desde el contorno al centro.

Otra disposicion está representada en la fig. 370 ensamblándose las vigas entre sí de manera que formen en una sala cuadrada una série de octógonos regulares, ligados unos á otros por ensambladuras que es fácil ver en el dibujo. El primer octógono se obtiene por medio de cuatro cuadrales que descansan en los muros, y se aumenta la solidaridad del sistema colocando los tacos ó zoquetes *x*, que se introducen á golpe de martillo entre las piezas que corresponden á dos octógonos contiguos, ó se ensamblan con ellas á caja y espiga muy cortas. Los espacios que

resultan entre los cuadrales y los muros se pueden llenar con cabios paralelos á los primeros, segun aparecen en la figura, ó por cuartones colocados en posicion perpendicular Debe hacerse que los maderos del suelo no insistan directamente sobre la fábrica de los muros, sino por medio de carreras *ABC*.

El intervalo que separa los polígonos va disminuyendo desde el contorno hácia el centro, segun una ley que dé el menor claro posible en la parte central, claro que se puede llenar de diversas maneras, una de las cuales representa la figura. Igualmente se disminuye la escuadría de las piezas á medida que son más cortas, tanto para reducir el peso del suelo hácia el centro como para economizar madera.

246. **Sistema radial.**—Finalmente, la disposicion representada en la fig. 371 pertenece á un suelo de entramado radial en el que todas las vigas se ensamblan por un extremo en las carreras que forman un marco poligonal y por el otro en una corona circular ó camon *i*, situado en el centro del suelo, que á su vez se llena con viguetas *g*. Las vigas suelen ser armadas si son de gran longitud, como se ve en seccion en la fig. 372, dándolas mayor resistencia cerca del muro que hácia la corona, con la que se ensamblan á caja y espiga, y encima se colocan las viguetas *r*, que siempre deben ser de una sola pieza, y forman polígonos concéntricos y equidistantes.

A más de los sistemas descritos, se han ejecutado suelos sin vigas ni viguetas, empleando únicamente buenos tablones, y se construyen formando con estos tres capas superpuestas, de las que cada dos contiguas tienen sus uniones en direccion cruzada. Las tablas de cada capa se unen entre sí á ranura y lengüeta, fijándose además á cada una de las de la capa inferior con dos claros que atraviesan á ambas. Se da al suelo la figura curva de las superficies de vela y se apoya en un rebajo hecho en un fuerte marco de soleras.

247. **Observacion.**—Siempre debe tenerse cuidado de que las vigas no caigan encima de vanos, como puertas y ventanas, á ménos de absoluta necesidad y tomando en tal caso todas las precauciones que la prudencia exige para referir su peso á los macizos del muro. Esto mismo puede decirse respecto á las viguetas, aunque en este caso no sea de tanta necesidad, pudiéndose apelar con este objeto al empleo de brochales que se apo-

yen sobre las viguetas que insisten encima de los macizos, ó bien reforzando la parte superior de los vanos de una manera conveniente y colocando los cabios como de ordinario.

248. **Empotramiento de las maderas en los muros.**—Casi siempre se empotra el maderámen de los suelos en los muros que le sostienen, á fin de dotar á las piezas de la conveniente resistencia é invariabilidad. Cuando los muros son de entramado, presentan poco espesor, y entonces los maderos del suelo tienen que atravesarlos de parte á parte y hasta en muchas construcciones antiguas tienen un vuelo en la fachada, formando saledizo, que se aprovechaba para dar al piso superior mayor extension que al bajo. En los demás casos se hace que los maderos de suelo se empotren en el espesor de los muros, entrando en éstos desde 15 centímetros hasta 25 ó 30, cuando es grande el grueso de los apoyos.

Conviene que la parte empotrada de las piezas, ó sea su entrega, tenga bastante longitud, á fin de darlas más resistencia y de conseguir que la fábrica de los muros padezca lo ménos posible á consecuencia de las vibraciones que pueden ocasionarse en el suelo.

Como las vigas tienen que experimentar mayor carga que las viguetas, se da algo más longitud á su empotramiento; y á no ser que los muros sean de sillería, ó de otra fábrica de análoga resistencia, se las apoya sobre coginetes ó almohadillas *A* (fig. 373) de piedra ó soleras de madera, que refuerzan el rebajo del empotramiento y refieren la carga á una superficie mayor. Cuando los suelos tienen que sufrir grandes cargas, y sobre todo cuando la fábrica de los muros no es de mucha resistencia, conviene construir, por debajo de las vigas, cadenas verticales que arranquen desde el suelo y tengan mayor seccion trasversal ó fábrica más resistente que el resto del muro, las cuales se ejecutan con el mayor esmero (153.)

En los casos ordinarios de la práctica, las vigas y viguetas no hacen más que insistir sobre los muros, en los que se practican rebajos algo mayores de los necesarios para que entren los extremos ó cabezas de las piezas (fig. 373), y á fin de que el aire circule á su alrededor y evite su putrefaccion, se pueden dejar en el paramento interior de los muros pequeños agujeros practicados en el relleno que rodea á la pieza, ó bien si hubie-

ran de producir mal efecto se practicaria el rebajo en todo el grueso del muro como aparece en la figura, colocando en *k* una baldosa con agujeros. De todos modos la putrefaccion de las vigas empotradas en los muros es mucho ménos activa y frecuente en nuestros climas que en los del Norte.

249. **Amarrado de las vigas.**—En muchos casos, y principalmente cuando el suelo haya de sostener grandes pesos, es preciso fijar de una manera invariable los extremos de las vigas á los muros en que se apoyan, no solo para aumentar la resistencia de los suelos, si que tambien para ligár entre sí los muros del edificio, formando de este modo un todo mucho más estable que si estuvieran enteramente aislados, ó solo unidos entre sí por los extremos.

Muchas son las disposiciones empleadas para conseguir este objeto y aun más pudieran adoptarse; pero nos fijaremos como casos más sencillos y frecuentes en las representadas en las figuras 374 y 375.

En la primera, *a* es un fleje que se tuerce en el punto *b* y se sujeta á una de las caras de la viga por medio de pernos ó simplemente con clavos, y termina por un ojo cuadrado ó redondo *c*, que atraviesa un barrote *d*. Cuando se quiere aumentar la resistencia se colocan dos flejes *aa* (fig. 375) en dos caras opuestas de la viga, á las que se fijan con pernos, grapas ó clavos (los tres medios aparecen en el dibujo), y además, en el extremo contiguo del fleje se forma una uña que se incrusta en la madera para hacer el conjunto más solidario. Por el extremo opuesto pueden tener un ojo por el que se pasa un barrote, como en el caso anterior, ó mejor puede terminar cada fleje en una rosca, sustituyendo al barrote con una placa de hierro fundido de la resistencia conveniente, y con las aberturas necesarias para dar paso á las roscas en cuyos extremos se atornillan fuertes tuercas. Algunas veces se modifica esta disposicion reuniendo en la cabeza de la viga los dos flejes en uno, que entonces afectan la forma de un estribo, y fileteando el extremo de la parte comun, al que se fija una tuerca, como en el caso anterior.

Puede hacerse que los barrotes sean aparentes ó que estén embebidos en la fábrica del muro. Antiguamente se empleaba mucho la primera disposicion y servia hasta de adorno; pero en

el dia, y fuera de ciertos edificios industriales, no se adopta, quedando casi siempre en el interior del muro y á una distancia de 10 ó 12 centímetros por lo ménos del paramento.

Algunas veces no es necesario que sean las vigas de una sola pieza en toda su longitud, como sucede, por ejemplo, cuando insisten sobre apoyos aislados ó muros divisorios, y en tal caso lo mejor es empalmar las dos partes contigüas á rayo de Júpiter, de modo que la union descanse sobre el apoyo ó muro, reforzándola con dos flejes puestos en las caras verticales, que se fijan con clavos ó pernos.

Todas las vigas de los suelos representados en la fig. 366 se fijan en sus extremos con flejes, como se ha dicho antes, y las viguetas, ó bien se colocan como se indicó en el núm. 243, ó solo se fijan cada dos ó tres metros, segun se juzgue necesario. Para aumentar la rigidez de los suelos é impedir que las viguetas puedan moverse en sentido horizontal, se emplean muchas veces pequeñas piezas de madera, llamadas *zoquetes*, que se ponen á golpe entre las viguetas, como se indica en x de la figura 370, segun ya se ha dicho más arriba.

250. **Aberturas en los suelos.**—Los cañones de las chimeneas que conducen el humo á la parte superior de la cubierta del edificio, tienen que atravesar los suelos superiores al hogar; y con el fin de evitar que las maderas contiguas á dichos cañones puedan quemarse y dar orígen á incendios, se les separa al ménos 15 centímetros de la caja de los cañones, como se ve respectivamente en α y β de las figs. 363 y 366, por medio de un embrochalado.

Análogamente se evita que el fuego de las chimeneas llamadas á la francesa se trasmita á los maderos del suelo en que se establecen, á cuyo fin se forma un embrochalado de las dimensiones necesarias, rellenando con fábrica el claro que resulta. Generalmente se compone de un brochal *rr*, que se ensambla á dos viguetas (fig. 363) de alguna mayor escuadría que las demás; ó bien de dos traviesas *ss* que se ensamblan á una fuerte vigueta, y cuando es necesario, el brochal ó las traviesas sirven de apoyo á maderos cojos. Las dimensiones de estos embrochalados varían naturalmente con las del hogar; pero rara vez tienen ménos de $1,^{m}50$ de largo por $0,^{m}60$ de ancho.

El relleno de fábrica se puede hacer de varias maneras:

1.° Cuando las viguetas tienen bastante espesor se construye á veces una bovedilla de ladrillo *a* (fig. 376) que llega á tener hasta $^1/_{10}$ de flecha en algunos casos, ofreciendo la solidez necesaria, y sobre la que se establece el relleno que sirve de base al hogar de la chimenea.

2.° Tambien se puede emplear, cuando no sea en perjuicio de la decoracion, una semi-bóveda de ladrillo *b* (fig. 377) más ó ménos rebajada, que arranque del muro y termine en la pieza *c*, la cual se deberá reforzar convenientemente ligándola á sus contiguas paralelas por medio de enzoquetados.

3.° Por último, se puede hacer que el relleno de fábrica se apoye sobre pletinas ó barretas de hierro (a) que se fijan sólidamente al contorno del embrochalado. La fig. 378 (lám. 16) representa esta disposicion en dos proyecciones, siendo *aa* las pletinas que, acodadas por sus extremos para fijarlas con clavos ó pernos á los maderos del suelo, enrasan por su parte central con la cara inferior de éstos. Se las coloca á distancias convenientes para poder cubrir los claros que dejan con ladrillos ó baldosas que forman el fondo del hogar, y encima se rellena con hormigon, mampostería ó escombros finos bien apisonados, sobre los que se sienta el embaldosado superior, ó sea el hogar de la chimenea. Algunas veces, cuando las dimensiones del embrochalado son muy grandes, se cruzan á ángulo recto con las primeras pletinas otras *bb*, *c*, que se fijan de la misma manera á los maderos del suelo y sirven las *b* para repartir mejor la carga total, y las *c* para sostener las jambas de la chimenea.

Hay además varias circunstancias en las que es preciso practicar en los suelos aberturas más ó ménos grandes, como sucede cuando hay que establecer escaleras de servicio, trampas de comunicacion, etc. En todos los casos se forma un embrochalado con piezas que tengan la conveniente resistencia, segun las condiciones peculiares de cada caso particular.

251. **Observacion.**—Toda la madera que se emplea en la construccion, y por lo tanto la que forma los suelos, debe llenar la condicion de estar perfectamente curada, sin lo cual se dificulta la salida de la sávia, por estar rodeada con otros ma-

---

(a) La seccion trasversal de las pletinas varía de 12×4 milímetros, hasta 94×11; generalmente se emplean las que tienen 50×5.

teriales, y en tal caso comienzan las piezas por calentarse y concluyen por podrirse con rapidez. A fin de evitar este inconveniente y para que la madera no pueda absorber la humedad de los materiales que la rodean ó del aire ambiente, se la suele dar un enlucido ó pintura que recubra todas sus caras ménos las cabezas, por las que así puede renovarse el aire y promover la exudacion de la sávia, adoptando disposiciones como la representada en la fig. 373. De todos modos, y aparte del caso en que la madera esté completamente curada, conviene dejar sin enlucir una tabla ó canto de la pieza, que no esté expuesta á absorber la humedad exterior, y esperar varios años antes de cubrirla como las demás, puesto que se ven muchas veces maderas que se han enlucido demasiado pronto y se encuentran podridas por el centro, aunque en el exterior parezcan completamente sanas.

Muchas son las sustancias empleadas con este objeto, pero las más eficaces y usadas en el dia son las pinturas ordinarias al óleo, la brea aplicada bien caliente y las pinturas con base de creosota. Estas últimas, que se obtienen con ménos gastos que la esencia de trementina, tienen la propiedad de secarse con gran rapidez y formar un barniz muy resistente en la superficie de la madera, razon por la que se emplean con preferencia. Debe tambien cuidarse de cubrir con brea caliente los herrajes destinados á consolidar las uniones de las piezas de madera, lo mismo en los suelos que en las demás construcciones.

252. **Dimensiones y separacion de las piezas.**—Por la mecánica aplicada á las construcciones es fácil deducir la seccion trasversal de las piezas, dada su separacion, ó viceversa, cuando se conocen las cargas que haya de sufrir el suelo, sus dimensiones y la resistencia del material empleado; y aun cuando por otra parte hay ciertas reglas prácticas para obtener estos resultados, son sin duda preferibles los cuadros siguientes que presenta M. Demanet en su obra titulada *Cours de construction*.

Cuadro de las escuadrías que se deben dar á las viguetas de los suelos segun las diversas longitudes y separacion, en las edificaciones ordinarias.

LUZ salvada por las viguetas.	ESCUADRIA siendo la separacion de eje á eje igual á 0,m50	0,m70	0,m80	0,m90	1,m00
3 metros.	0,15×0,11	0,17×0,12	0,17×0,12	0,18×0,13	0,19×0,14
4 "	0,18×0,13	0,20×0,14	0,21×0,15	0,22×0,16	0,24×0,17
5 "	0,21×0,15	0,24×0,16	0,25×0,17	0,26×0,18	0,27×0,19
6 "	0,23×0,17	0,26×0,18	0,27×0,19	0,28×0,20	0,29×0,21
7 "	0,25×0,18	0,29×0,20	0,30×0,21	0,31×0,22	0,32×0,23
8 "	0,28×0,20	0,31×0,21	0,32×0,22	0,33×0,23	0,35×0,25
9 "	0,31×0,22	0,35×0,25	0,36×0,26	0,37×0,27	0,39×0,28
10 "	0,33×0,23	0,37×0,26	0,38×0,27	0,40×0,28	0,42×0,30

OBSERVACIONES.

Para formar este cuadro se ha hecho uso de la fórmula $b=0{,}0134\sqrt[3]{p\,e\,L^2}$ en la que b representa la altura de la seccion trasversal (el ancho a se determina por la expresion $a=0{,}71\,b$), e la separacion de eje á eje de las viguetas, L su longitud entre muros, y tomando para p (peso del suelo y de la sobrecarga por metro superficial) 300 kilógramos, á saber: 30 para la carga ordinaria del suelo más 270 para las sobrecargas accidentales, comprendiendo el peso de los muebles y de las personas *en movimiento* llenando todo el espacio del suelo. Las escuadrías ofrecen bastante resistencia para poderse aplicar hasta en las edificaciones militares que sirven de alojamiento á la tropa.

Las viguetas deben ponerse *de canto.*

Cuadro de las escuadrías que se deben dar á las vigas de los suelos, segun sus diversas longitudes y separacion, en las edificaciones ordinarias.

LUZ salvada por las vigas.	SEPARACION de las vigas salvada por las viguetas.	ESCUADRIA.	OBSERVACIONES.
3 metros.	3 metros.	0,27×0,19	Este cuadro se ha calculado por la fórmula $b=0,0134\sqrt[3]{\left(p+\frac{\delta\Omega n}{L'}\right)LL'^2}$ en la cual *b* tiene la misma significacion que en el cuadro anterior: δ, Ω y *n* representan respectivamente el peso del metro cúbico de viguetas, su seccion trasversal y su número por metro cuadrado; *L'* la longitud entre muros de las vigas, *L* su mútua separacion y *p*=300 kilógramos como anteriormente. La mayor ó menor separacion que puede existir entre las viguetas, no tiene influencia sensible en la escuadria de las vigas, porque la escuadria y el peso de aquellas aumentan al mismo tiempo que su número disminuye ó que se las separa más, de tal suerte que su peso total queda próximamente el mismo. Las vigas deben ponerse de canto y la relacion entre *a* y *b* es la misma consignada en el cuadro anterior.
	4 "	0,29×0,21	
4 "	3 "	0,33×0,23	
	4 "	0,36×0,26	
5 "	3 "	0,37×0,26	
	4 "	0,42×0,30	
6 "	3 "	0,43×0,31	
	4 "	0,47×0,33	
7 "	3 "	0,47×0,33	
	4 "	0,52×0,37	
8 "	3 "	0,52×0,37	
	4 "	0,58×0,41	
9 "	3 "	0,56×0,40	
	4 "	0,62×0,44	
10 "	3 "	0,61×0,43	
	4 "	0,67×0,48	

253. **Entramados de hierro.**—Antes del empleo exclusivo del hierro en la construccion de los suelos, se le empezó á aplicar como refuerzo de las piezas de madera, habiéndose adoptado con este objeto disposiciones muy diversas, de las que aparece un ejemplo en la fig. 379 (lám. 15), que es propiamente una viga armada por medio de flejes en forma de arco, fijos á sus caras laterales. Ambos materiales resisten á la compresion y la parte inferior de la viga á la extension, contrarestando el empuje del arco.

Posteriormente se empezó á emplear, sobre todo en Inglaterra, vigas de hierro fundido con la longitud conveniente para

salvar los espacios que se habían de cubrir, las cuales, si bien servian para construir suelos incombustibles, en cambio resistian mal á la flexion; de modo que para conseguir una resistencia próximamente uniforme era preciso aumentar bastante la masa por la parte inferior de la viga, creciendo por consiguiente el peso propio del suelo. Esto, unido á otros inconvenientes que el hierro fundido presenta para construcciones de este género, hizo que su empleo fuera provisional y transitorio. Las formas más frecuentes que se adoptaron para la seccion trasversal de las vigas están representadas en la fig. 380.

Por último, los adelantos y perfeccionamientos que constantemente se han ido introduciendo en el trabajo del hierro forjado y laminado, han hecho que, de unos veinticinco años á esta parte, se sustituya este material al hierro fundido, sobre el cual presenta grandes ventajas, siendo las principales la de cargar mucho ménos los apoyos por tener las vigas ménos peso á igualdad de resistencia, y presentar más elasticidad á los choques y vibraciones, alterándose mucho ménos por estas causas de destruccion.

254. **Entramados de flejes y llantas.**—Se acaba de ver que los arcos de hierro puestos en las caras de espesor de las vigas de madera habia sido el primer paso dado en la construccion de los suelos de hierro; y en efecto, si se suprime la viga y se refuerza el arco por medio de un tirante inferior, se tiene la forma elemental del cuchillo armado de hierro.

Estos cuchillos, muy variados en sus detalles, se componen en su parte esencial de un tirante, fijo sólidamente á la fábrica del muro por medio de barrotes, y de un arco, cada uno de cuyos extremos se apoya contra una nariz formada hácia las extremidades del tirante (fig. 381, lám. 16). Además se adoptan disposiciones accesorias para impedir la deformacion del conjunto, como pilarejos ó montantes que impidan la aproximacion del arco y del tirante, bridas que los abracen é impidan su separacion y remaches ó roblones que acaben de consolidar las uniones. Muchas veces se hace terminar horizontalmente el cuchillo por su parte superior, colocando un fleje paralelo al tirante y prolongando las bridas ó intercalando otras para fijar su posicion respecto á las demás piezas.

Aunque los cuchillos de este género presentan bastante eco-

nomía de metal, tienen, sin embargo, el inconveniente de ser muy poco estables y de exigir una esmerada mano de obra, lo que en definitiva los hace muy costosos, siendo ésta la causa de haber tenido un empleo limitado.

Una mejora importante, respecto á los anteriores cuchillos, fué sin duda el empleo de láminas de palastro puestas de canto, con lo que se reducia mucho la mano de obra; pero, en cambio, presentaban muy poca resistencia lateral, ocasionándose deformaciones perjudiciales, y se oxidaban con facilidad por su gran superficie y pequeño espesor.

Mejor disposicion fué la adoptada por M. Vaux, empleando como cuchillos flejes de grandes dimensiones. Estos no son exactamente rectos en sentido de su longitud, sino que están arqueados segun una flecha de un centímetro por metro de longitud, lo que se consigue por medio del forjado en frio, y se colocan de canto con la concavidad hácia abajo, empotrando sus extremos en los muros. Para fijar la posicion de los cuchillos y ligarlos entre sí se hacia uso de barretas doblemente acodadas *aa* (figs. 382 y 383) abrazando superiormente á los cuchillos *c*. Una disposicion análoga se empleaba con el mismo objeto en los suelos descritos anteriormente.

Este sistema de entramados, aunque algo más costoso que los de madera, se generalizó con rapidez, porque poseia las ventajas de presentar poco grueso para una resistencia dada, de reducir notablemente la mano de obra, y de tener más estabilidad que los otros sistemas descritos, á causa de la menor altura de los cuchillos; pero en cambio éstos contienen más metal que los anteriores á igualdad de resistencia, si bien esto es preferible al aumento en la mano de obra, porque ésta nada vale despues, al paso que el material siempre conserva cierto valor.

Se han adoptado otras varias formas en la seccion trasversal de los cuchillos; pero todas presentaron inconvenientes más ó ménos graves, que limitaban su empleo, hasta que se llegó á la seccion de doble T, que es la más generalizada en el dia.

225. **Entramados de cuchillos en doble T.**—La forma general que afectan estos cuchillos en su seccion trasversal, está representada en la fig. 384 y consta de una placa ó nervio vertical con dos cabezas horizontales, una superior y otra inferior,

que sirven de refuerzo. El nervio vertical resiste perfectamente á las fuerzas verticales y las cabezas no solo aumentan el material en los puntos en que es mayor la tension y compresion originadas por la flexion, sino que por el ancho que presentan se oponen tambien á la flexion horizontal que tienden á producir los esfuerzos inclinados. En el dia están bastante adelantados los procedimientos industriales para obtener por medio de los laminadores cuchillos de esta forma y de dimensiones muy variables. Los llamados hierros ordinarios presentan una escala regular comprendida entre 0,m10 y 0,m22 de altura, cuyas secciones son algo variables en ancho, como se han anotado en la figura, así como su peso P por metro lineal. Los grandes hierros tienen de 0,m22 á 0,m40 de altura, y sus proporciones son muy variables de una fábrica á otra.

Análogamente á lo que se dijo en los suelos de madera se colocan los cuchillos en los de hierro normalmente á los lados mayores del espacio que se debe cubrir, insistiendo sus extremos, ya sobre los muros que limitan este espacio, ya sobre apoyos intermedios si éste fuera muy grande. Cuando la fábrica de los muros de recinto no tenga la resistencia conveniente, se deberá hacer que los extremos de los cuchillos descansen sobre placas de fundicion, de palastro ó losetas de sillería, á fin de repartir la presion sobre mayor superficie; y si el caso lo exigiera se construirán pilastras ó refuerzos en los muros, siguiendo la vertical de los apoyos de los cuchillos.

Las diferencias principales que existen en los suelos formados con cuchillos de doble T están fundadas en la manera de arriostrarlos. Con este objeto se han adoptado disposiciones muy variadas, cuyo exámen detallado no es de este lugar; pero indicaremos las más importantes.

Puede hacerse el arriostrado con madera (figs. 385 y 386) y en tal caso se colocan trozos de viguetas *aa,* cuya longitud sea igual á la separacion que existe entre los nervios de los cuchillos y se sitúan normalmente á éstos. Estas riostras descansan sobre las cabezas inferiores de los cuchillos y pueden tener la misma altura que éstos, ó bien ser algo más altas ó más bajas. Con este arriostrado se obtienen suelos económicos y muy estables, en razon á que las riostras fijan la posicion y sujetan entre sí los cuchillos, á cuyo fin se las coloca á percusion.

Tambien puede hacerse al arriostrado con hierro, formando lo que se llama suelos imcombustibles (a). Muchas disposiciones se han adoptado con este objeto siendo las principales las representadas en planta en las figs. 387, 388, 389 y 390 con las respectivas secciones trasversales que aparecen en las 391, 392, 393 y 394. En la primera, cada riostra está compuesta de un fleje, cuadradillo ó barreta doblemente acodado en los puntos de encuentro con los cuchillos, cuya cabeza superior abraza y sujeta del mismo modo que se ha dicho en los entramados anteriores. En la segunda se fija la posicion de los cuchillos por medio de fuertes varillas que terminan en roscas, y los atraviesan dos á dos por su fibra neutra, apretándose con una tuerca. En la disposicion tercera las riostras presentan grandes codos con el objeto de poderlas fijar á los cuchillos á la altura de su fibra neutra. Por último, el caso representado en la cuarta, consiste en riostras colocadas superior é inferiormente á los cuchillos, que se unen á éstos por medio de codos y tornillos, segun se representa en la derecha de la seccion comprendida entre *A* y *B*, ó bien las riostras son seguidas y se colocan manecillas *mm*, que se sujetan á éstas, abrazando y comprimiendo las cabezas de los cuchillos, sin tener que debilitar á éstos en los puntos de fijacion, como se ve en el lado de la izquierda.

Por la inspeccion de las figuras se comprende que á igualdad de las demás condiciones, los casos primero y segunda variante del cuarto son los que presentan mayor resistencia, por no tenerse que debilitar nada los cuchillos; despues siguen el segundo y el tercero y el más debilitado es la primera disposicion del cuarto.

(a) Esta denominacion no lleva consigo la idea de que estos suelos sean inatacables por el fuego, sino que, por el contrario, se han hecho observaciones en Inglaterra y en otros países, de las que se deduce que los suelos con entramado de madera y rellenos con fábrica, como se dirá más adelante, han resistido mejor que los formados con cuchillos de hierro y el mismo relleno. En el primer caso es cierto que la parte de la viga que se encuentre más ó ménos directamente expuesta al fuego se carboniza en un espesor de 2 á 3 centímetros, lo que disminuye su resistencia, aunque sin alterar su forma; pero en cambio los cuchillos de hierro expuestos al mismo fuego se deforman y retuercen en términos de romperse ó de destruir al ménos los apoyos sobre que insiste el relleno, en cuyo caso cae al piso inferior y esto da más pábulo al fuego.

Finalmente, se puede considerar otra clase de arriostrado que presenta una superficie contínua de uno á otro cuchillo y sobre el que insiste en toda su extension el relleno. Consiste en placas ó planchas de palastro ondulado, como apareee en planta en la fig. 395 (lám. 17) y en secciones en las 396 y 397, donde se ve la manera de roblonarse unas planchas con otras y con las cabezas inferiores de los cuchillos que las sostienen: las ondulaciones pueden ser sencillas ó dobles, como se representan en el lado *A* de la figura. Tambien se puede establecer una chapa continua en forma de arco (figs. 398 á 400) cuyos extremos se sujetan á las cabezas inferiores de los cuchillos y cuyas juntas se unen y refuerzan por medio de hierros con seccion en T, como aparece en *ab*, *a'b'*.

Aunque existen otros sistemas para el arriostrado, ya conservando á los cuchillos toda su resistencia, ya aumentando la estabilidad del conjunto, ya por fin haciendo que las riostras formen figuras triangulares y por lo tanto indeformables, presentan sin embargo el inconveniente de aumentar el gasto así en la mano de obra como en la cantidad de metal, por cuya razon no creemos necesario describirlos, tanto más cuanto que solo son variantes de los casos ya examinados.

256. **Entramados de cuchillos en U y en V invertidas.**— Se ha observado que los cuchillos en doble T, de cualquier manera que se los empotre y arriostre, se deforman, tuercen y ceden cuando actúan sobre ellos pesos que lleguen á $^3/_4$ de la carga de rotura; y por esta razon se ha buscado otra forma en la seccion trasversal, que presente mayor resistencia y que al mismo tiempo sea fácil de laminar y colocar en obra sin que experimente por la carga de rotura deformacion lateral.

Pero sin entrar aquí en un exámen crítico acerca de estas formas, será conveniente consignar que en toda buena construccion el hierro no se debe someter á cargas que pasen de $^1/_5$ y á lo más $^1/_4$ de la de rotura; de modo que en estas condiciones y dada la buena disposicion que presenta la masa en las secciones de doble T para resistir á las fuerzas exteriores, no es de extrañar la preponderancia que han tenido y tienen los hierros que poseen esta última seccion sobre los que vamos á reseñar.

A fin de conseguir el objeto indicado más arriba, se empe-

zaron á laminar hierros cuya seccion era en forma de U, que despues se ha modificado en la de V y que se conocen con el nombre de hierros Zorés. El primer caso está representado en los figuras 401 y 402, en que *aa* representa el cuchillo hueco de U invertida y *bb* las riostras; y con objeto de impedir que la parte inferior del cuchillo se ensanche por la flexion, se ponen placas, bridas ó riostras parciales *cc*, roblonadas á los codos inferiores. Puede hacerse que las *bb* y *cc* sean una misma ó contínuas cuando el peso que haya de resistir el suelo sea muy grande, y de este modo se reduce la mano de obra. Las mismas disposiciones, respecto á los refuerzos de cada cuchillo ó al arriostrado de uno con otro, se adoptan en el caso de ser la seccion de los cuchillos, en forma de V invertida (figs. 403 y 404) presentando éstas la ventaja, comparadas con las anteriores, de estar mejor distribuido el metal y prestarse fácilmente á voltear bovedillas de un cuchillo á otro, como se verá al tratar del forjado ó relleno de los suelos (a).

257. **Cuchillos de palastro.**—Cuando pasa de 7 á 8 metros la luz que deben salvar los cuchillos de hierro laminado, y la carga que hayan de sostener sea muy grande, se obtiene generalmente mejor resultado empleando cuchillos de palastro; asi es que tienen una aplicacion muy conveniente en los grandes talleres y almacenes, en fábricas, museos y otros edificios análogos. En estas condiciones, y siempre que la luz pase de 10 metros, son desde luego preferibles los cuchillos de palastro á los laminados.

Un cuchillo de la clase que examinamos se compone generalmente de una placa vertical *ab* de 8 á 12 milímetros de espesor, segun aparece en seccion en la fig. 405, con otras dos horizontales *cd*, *ef* á sus extremos, ligadas entre sí por medio de hierros en ángulo y roblones, afectando la forma de los cuchillos de doble T. Segun las fuerzas que actúen en la construccion, se pueden suprimir ó duplicar y aun triplicar las placas horizontales, como se representa en las figuras 406 y 407.

(a) Los cuchillos en U y V invertidos tienen el gran inconveniente, comparados con los de doble T, de presentar mucha mayor superficie á la accion de los fuegos, por lo que en definitiva resisten ménos á su influencia destructora; al paso que los últimos solo están expuestos en una pequeña parte de su seccion.

Un cuchillo formado de esta manera se le puede considerar como un sistema rígido; y si bien en la práctica esto no se alcanza por completo, se consigue hasta cierto punto, si se verifican con esmero los ensamblajes.

Cuando se hace uso de estos cuchillos se disponen de manera que reduzcan los claros principales, que despues se rellenan con cuchillos ordinarios; representando aquellos el mismo papel que las vigas maestras en los suelos de madera de tramos (243) y estos el de los cabios que insisten sobre ellas.

La fig. 408 representa la planta de un suelo de esta naturaleza, de 8 metros de largo por 7 de ancho. En la parte central de la superficie se ha colocado el cuchillo maestro de palastro *aa*, de 0,^{m}27 de alto por 0,^{m}20 de ancho en las cabezas, á cuyos costados vienen á unirse, como se ve en seccion y en mayor escala en las figuras 409 y 410 las extremidades de otros cuchillos *bb*, de hierro laminado, que por sus extremos opuestos descansan sobre los muros de recinto. Estos cuchillos, tambien en forma de doble T y con una altura de 0,^{m}14, distan unos de otros 0,^{m}76 y están entre sí arriostrados por hierros de simple T de 0,^{m}06 de alto por 0,^{m}10 de ancho en la cabeza, encorvados en sus extremos y roblonados, como lo indican en seccion las figuras 411 y 412. Estos hierros de simple T se convierten en doble T de 0,^{m}12 de alto para las riostras que están contiguas á los muros, segun se expresa en la planta, uniéndose á los cuchillos conforme aparece en las figs. 409 y 413 (lám. 18). Encima de este entramado se colocan barretas de seccion cuadrada de 0,^{m}009 para sostener el forjado.

En el ejemplo quo examinamos, construido en el colegio Chaptal de París, los hierros de 0,^{m}12 de alto y las otras riostras de simple T quedan aparentes por la parte inferior y sirven de decoracion al techo. Debe además notarse la armazon de hierro de 0,^{m}055 por 0,^{m}009 de seccion que aparece en la planta y liga el conjunto del entramado sin interceptar el paso á los tubos de las chimeneas: á esta armazon se unen los barrotes de empotramiento del cuchillo maestro. Igualmente debe observarse que las dimensiones asignadas más arriba á este suelo se reducen algo por la cornisa de piedra de 0,^{m}65 de vuelo que rodea á la habitacion inferior, como se ve en las figuras 409 y 411.

258. **Cuchillos acoplados.**—Siempre que la intensidad ó direccion de las fuerzas exteriores sean tales que puedan producir una deformacion en los cuchillos de palastro que se han examinado, seria preciso dar á éstos dimensiones excesivas, y en su lugar se prefiere enlazar entre sí dos cuchillos ordinarios que presenten la resistencia deseada, y algunas veces, aunque raras, se han enlazado hasta tres. Esta disposicion se emplea, no solo en los cuchillos maestros de los suelos muy extensos y cargados, sino tambien en los dinteles de muchas casas modernas que, ya en el interior, ya en las fachadas, han de sostener grandes cargas, tal como la de una pared superior.

Están compuestos generalmente de dos cuchillos iguales, de hierro laminado ó de palastro, cuya seccion es de doble T, los cuales se reunen y mantienen en posicion invariable uno respecto del otro y á una distancia comprendida entre 0,^{m}25 y 0,^{m}50 por diversos medios. Primeramente se enlazaron estos cuchillos con marcos ó recuadros de fundicion (fig. 414) ó con aspas de hierro forjado (fig. 415), sujetando el conjunto por la parte exterior con un fuerte cincho de hierro, puesto en caliente, con el fin de obtener un gran ajuste por efecto de la contraccion. Los cinchos y las aspas se suelen colocar de metro en metro de distancia. En el dia se emplean con este objeto placas de palastro colocadas á ángulo recto con los cuchillos y unidas á éstos con cantoneras bien roblonadas, como aparece en la fig. 416; y si aun se quisiera aumentar su resistencia é impedir su deformacion lateral se podrian colocar otras cantoneras en los bordes superior é inferior de las placas; pero rara vez hay que apelar en la práctica á este recurso y es preferible dar desde luego á éstas el grueso necesario.

259. **Enlace de los cuchillos con los apoyos aislados.**—A pesar de la resistencia que se puede dar á los cuchillos y de las varias disposiciones que es posible adoptar con este objeto, hay sin embargo circunstancias en las que es preciso proporcionarlos uno ó más puntos de apoyo entre sus extremos, á fin de que no tengan que adquirir dimensiones extraordinarias y de que no carguen demasiado sobre los muros en que se empotran.

Dos circunstancias principales pueden presentarse en este caso, y son: primero, que los apoyos aislados no lleguen más que hasta el suelo que se considera, y segundo, que encima de

éste se hayan de colocar otros apoyos, y entonces es conveniente que éstos se correspondan y enlacen con los inferiores, como veremos ahora. En el primer caso, ya sean los cuchillos laminados ó de palastro, ya sean dobles ó sencillos, no hacen generalmente más que insistir sobre el apoyo, segun se ve en la figura 417; pero siempre que sea el cuchillo sencillo es muy conveniente reforzarle junto á los apoyos por medio de placas *aa* sujetas con cantoneras, á fin de aumentar su resistencia. Cuando el apoyo se haya de enlazar con otro superior, es preferible adoptar cuchillos acoplados (figs 418 á 420), y entonces se prolonga el apoyo inferior y pasa por entre los dos cuchillos, presentando en su parte más alta dos ó más ensanches ú orejas con taladros *tt*, á los que se une la base del apoyo superior por medio de tornillos y tuercas; pero si el cuchillo es sencillo, se puede dar al apoyo un cierto ensanche con los claros necesarios, para que á su través pase aquel, uniéndose superiormente el apoyo de más arriba, como se acaba de decir.

260. **Empotramiento de los cuchillos en los muros.**—No siendo grande la superficie que ha de cubrir el suelo, ó siendo reducidos los pesos que hayan de cargarle, se pueden colocar desde luego los cuchillos insistiendo sobre una loseta ó placa, como se ha dicho más arriba, y teniendo en el muro una entrega de 0,m20 á 0,m30: despues se rodean sus extremos con la misma fábrica del muro, hasta enrasarlos superiormente. Este sencillo empotramiento, unido al arriostrado, da á los cuchillos, en la generalidad de los casos, bastante fijeza de posicion, que despues se aumenta con el forjado, para resistir en buenas condiciones á las cargas superiores.

Si la extension del suelo ó las cargas que ha de soportar son grandes, hay que fijar á los muros las cabezas de los cuchillos de una manera más eficaz, y con este fin se han adoptado varias disposiciones; pero la más sencilla y que proporciona la resistencia necesaria es la representada en las figs. 421 y 422: *ab* es una fuerte pletina de 4 á 8 centímetros de ancho y encorvada de modo que por su parte central presente un ojo, volviendo paralelamente sus dos ramas á abrazar en una longitud de unos 20 ó 25 centímetros el nervio vertical del cuchillo en doble T. Tres roblones distantes de eje á eje 0,m10 pró-

ximamente sujetan la pletina al cuchillo y un barrote pasa por el ojo referido y se embebe en la fábrica del muro. Esta misma disposicion ó con muy ligeras variantes, se puede aplicar á los suelos formados con flejes ó con cuchillos en U y V invertidas.

261. **Aberturas.**—Las aberturas que se practican en los suelos de hierro están motivadas por las mismas causas aducidas al tratar de los de madera, y se verifican análogamente, formando brochales cuando el caso lo exija, sin gran debilitacion de las piezas que se unen entre sí, con arreglo á las prescripciones establecidas en el corte de hierros. Estas aberturas son, sin embargo, mucho ménos frecuentes en los suelos de que nos ocupamos, tanto por la mayor separacion que existe entre los cuchillos respecto á las vigas y viguetas, como por la mayor resistencia que presenta el hierro á la accion de un fuego poco intenso, cual es el de los hogares y cañones de chimeneas. No obstante, hay casos, como en el paso de escaleras y otros, en los que es preciso practicar aberturas segun se ha indicado.

262. **Observacion.**—El hierro, expuesto tanto á la accion del agua como á la del aire atmosférico, experimenta una oxidacion en su superficie, que despues se trasmite al interior de la masa, perjudicando á su resistencia y formando lo que se conoce con el nombre de orin ó herrumbre. Estos efectos son más ó ménos rápidos é intensos, segun sean las condiciones de la localidad y la naturaleza del hierro empleado.

En los casos ordinarios, en que la obra se encuentra expuesta á la accion de la atmósfera, se adopta como preservativo una de las varias pinturas preparadas con este objeto, siendo de las que han dado resultados prácticos más favorables las compuestas con base de óxido de hierro, puesto que dos metales de la misma clase no desarrollan por su contacto la accion galvánica, al paso que ésta siempre tiene lugar cuando son de distinta naturaleza y existe humedad. Entre ésta clase de pinturas la fabricada por los Sres. Lewis Roughton y compañía es una de las que mayor reputacion alcanzan.

Tambien se usa con el mismo objeto la pintura de minio, y aun cuando el óxido de plomo que entra en su composicion pueda en parte reducirse á expensas del hierro que se trata de preservar, esto solo sucede en cantidades pequeñas en los casos ordinarios.

Por numerosas experiencias se ha deducido que se puede

preservar eficazmente el hierro elevando su temperatura hasta cerca del rojo y sumergiéndole despues en brea hervida y mezclada con cal cáustica en polvo. Si despues se recubre la superficie con lechada de cal ó pintura al temple, y por último se pinta al óleo, puede conseguirse la preservacion del hierro por un gran número de años, siempre que se tenga cuidado de recubrir la superficie con brea hervida y cal cáustica cada tres ó cuatro años, segun los climas.

Sin embargo, en los casos ordinarios se adopta generalmente como preservativo á la oxidacion del hierro el procedimiento de cubrirle con dos capas ó manos de minio y dos de brea, y así se ha hecho en los mercados recien construidos en esta capital en la plaza de la Cebada y en la de los Mostenses. Despues se puede fijar una pintura al óleo del color que se crea más conveniente.

Antes de proceder á la extension de la primera capa preservatriz conviene en todos los casos limpiar la superficie del hierro, de modo que no quede ningun indicio de óxido ú orin.

Cuando la construccion se ve expuesta á las acciones sulfurosas que provienen de la combustion de muchas hullas, ó se encuentra en contacto con agua del mar más ó ménos pura, y con especialidad si contiene hidrógeno sulfurado, ó finalmente, si está entre fango con sustancias en putrefaccion, la energía destructiva de la capa preservatriz va siendo mayor en cada uno de estos casos, y se necesita, por lo mismo, mayor esmero en su colocacion y conservacion.

De algunos años á esta parte se ha empleado como preservativo de los metales y la madera una pintura cuya base es el cautchuc vulcanizado, llamada *indianita*, que se aplica en frio, como la pintura ordinaria. Tiene las ventajas de no exigir las capas prévias de minio, de resultar mucho más barata que las otras pinturas y de preservar tan eficazmente el hierro, que despues de sumergido en el mar por espacio de muchos meses, se conserva intacta y permanente la capa de pintura, tan bien adherida como cuando se la extendió.

263. **Dimensiones y separacion de los cuchillos.**—Podríamos repetir aquí lo dicho al principio del núm. 252 y por las razones entonces dichas, insertamos los dos cuadros siguientes que pueden ser de utilidad en muchos casos.

Suponiendo que la forma de la seccion trasversal de los cuchillos es de doble T, y llamando a al ancho de las cabezas, b á la altura total de la seccion, e al espesor del nervio, e' al de las cabezas, y admitiendo que la carga total por metro superficial sea de 300 kilógramos, se podrá formar el siguiente cuadro:

PESO del metro lineal del cuchillo.	DIMENSIONES EN MILÍMETROS.				Separacion de los cuchillos.	Luz salvada.
	b	a	e	e'		
9 kilógramos.	100	43	5	6	0,^{m} 80	3,^{m} 00
12 "	100	45	7	6	1, 00	3, 50
11 "	120	45	5	6	0, 80	4, 00
15 "	120	50	9	7	1, 00	4, 50
14 "	140	47	6	7	0, 80	5, 00
20 "	140	53	12	7	1, 00	5, 50
15 "	160	48	8	7	0, 80	6, 00
25 "	160	53	12	8	1, 00	6, 50
20 "	180	55	8	9	0, 80	6, 50
27 "	180	60	13	9	1, 00	7, 00
30 "	180	62	15	9	"	"
22 "	200	55	8	9	0, 80	7, 00
30 "	200	60	13	9	1, 00	7, 50
40 "	220	71	16	10	0, 80	7, 50
26 "	220	74	8	10	1, 00	8, 00

En el caso que la forma de la seccion trasversal de los cuchillos siga siendo de doble T, pero que varíen las cargas totales, puede dar el cuadro siguiente útiles indicaciones:

LUZ SALVADA por los cuchillos.	PARA CARGAS POR METRO CUADRADO DE						
	300 kil.	350	400	450	500	550	600
	se pueden tomar cuchillos con las alturas totales siguientes en milímetros.						
De 2,^{m} á 2,^{m}25.	80	80	80	100	100	120	120
De 2,^{m}25 á 2,^{m}50.	80	80 100	100	100 120	100 120	120	120 140
De 2,^{m}50 á 3,^{m}00.	80 100	100 120	100 120	120	120 140	120 140	140
De 3,^{m}00 á 3,^{m}75.	100 120	120 140	120 140	120 140	140 160	140 160	140 160
De 3,^{m}75 á 4,^{m}50.	120 140	140 160	140 160	140 160	160 180	160 180	160 180
De 4,^{m}50 á 5,^{m}50.	140 160 180	160 180	160 180	160 180 200	180 200	180 200	180 200 220
De 5,^{m}50 á 7,^{m}00.	180 200 220	180 200 220	180 200 220	200 220	200 220	200 220	220
De 7,^{m}00 á 8,^{m}50.	220	220	220 235	250 260	260	260	260 300

ARTÍCULO II.

Forjados.

264. **Su objeto.**—El forjado ó relleno de los suelos, no so... tiene por objeto proporcionar en su parte superior una superficie contínua sobre la que tiene lugar el tránsito, sino que además contribuye á fijar lateralmente la posicion de las vigas ó cuchillos del entramado; evita la trasmision de olores, miasmas y sonidos de un piso á otro del edificio, y sirve para que se puedan llenar las demás condiciones indicadas al principio de este capítulo.

265. **Forjado en los entramados de fábrica.**—Cuando el entramado del suelo es de fábrica, en cuyo caso resulta ya una superficie contínua por la parte superior, se suprime el forjado propiamente dicho, y solo hay que igualar horizontalmente esta cara superior para sentar encima el pavimento, como se explicará en el artículo siguiente.

266. **Forjado en los entramados de madera.**—Si fuera de madera el entramado se adoptan disposiciones distintas para el relleno, siendo las siguientes las más principales:

En las construcciones de poca importancia, como buardillas, establos y algunos edificios rurales, se puede suprimir por completo el forjado, y para obtener la superficie contínua sobre el entramado basta cruzar por encima y clavar á las viguetas que le forman, *vv*, (fig. 422) un entablonado contínuo *d* sobre el cual se vierte una capa de yeso *b* de 4 á 6 centímetros de espesor, que sirve de base al pavimento. Algunas veces se recubre por la parte inferior el entablonado con otra capa ó enlucido de yeso *c*, que ocupa los claros entre las viguetas. Hay ocasiones en que se simplifica aún más esta disposicion, limitándose á construir el entablonado contínuo *d*, como se verá en el artículo siguiente, cuyo entablonado sirve desde luego de pavimento al suelo.

En otros casos se hace que el forjado ocupe cierto espesor del suelo, lo que tiene la ventaja, por una parte, de aislar más entre sí los pisos; pero en cambio tiene que resistir el entrama-

do una carga permanente mayor. Una disposicion muy adoptada en las edificaciones de poca importancia consiste en formar entre dos maderos de suelo contíguos una pequeña bóveda de yeso y cascote fino (fig. 423) *abcd*, apoyándose sobre las caras laterales de las viguetas; y á fin de que éstas no permitan descender á la bovedilla, se las da unas veces cierta inclinacion que corresponde á la forma trapezoidal en la seccion de la vigueta y otras se las clavetea con hijuelas, ó más frecuentemente se pican con la azuela á fin de que presenten suficientes asperidades y se adhiera bien el forjado.

Para la ejecucion de estas bóvedas se establecen pequeñas cimbras muy sencillas ó galápagos, cuya luz es igual al claro *bd* entre las viguetas, y que se sostienen por la parte inferior con puntales apoyados en el suelo que está debajo. Modernamente se ha reemplazado en varios casos la fábrica de yeso y cascote por el hormigon, que presenta más resistencia é inalterabilidad. A los rellenos de esta forma se conocen con el nombre de *bovedillas*.

Los forjados que se acaban de examinar dejan aparente por la parte inferior el entramado; pero hay ocasiones en que se prefiere que esté oculto, y entonces se adopta la disposicion llamada *cielo raso*.

En este forjado pueden presentarse casos distintos, ya se construya *lleno* ó ya *hueco*, llamado tambien en *canal*. Cuando el forjado es lleno (fig. 424), ocupa todo el claro comprendido entre las viguetas de suelo, á las que se hace que adhiera bien, preparando las caras laterales como se ha dicho en el forjado de bovedilla, y además se le sostiene por la parte inferior con un guarnecido de tablas chillas, llamado *enlatado*. Este guarnecido se compone de latas que dejan entre sí claros de unos 8 centímetros, las cuales se clavan á la cara inferior de las viguetas por medio de fuertes puntas de París ó alfileres. Se colocan las latas á escuadra con la direccion que tienen las viguetas, y se hace que la union de dos latas consecutivas venga al centro de una vigueta, á la que se clavan sólidamente. Una vez preparado así el entramado, se procede al relleno, como se dijo en la bovedilla; pues la diferencia esencial en la ejecucion de estos dos forjados estriba en la sustitucion del galápago con el entablado que queda permanente. Estos forjados llenos hacen

que el suelo resulte muy pesado, y solo tienen aplicacion adecuada en las mesetas de las escaleras.

El forjado hueco ó en canal (fig. 425) está compuesto en su parte inferior de un guarnecido de latas llamado contínuo, porque solo dejan entre sí un claro de 1 centímetro próximamente, colocadas y clavadas como se dijo en el caso anterior, y sobre este guarnecido se extiende una capa de yeso bien amasado y algo consistente que tenga al ménos 3 centímetros de espesor. Si el yeso estuviera demasiado flúido, ó fuera muy grande la separacion entre las latas, como se ha visto en el forjado lleno, seria preciso colocar provisionalmente debajo de éstas una ó más tablas para cerrar los claros, tablas que se quitan despues de fraguar la capa de yeso, y se van corriendo en toda la extension del suelo hasta acabar el forjado. De cualquier manera que sea, se tiene en la cara inferior del entablonado zonas más ó ménos anchas de yeso que forman parte del forjado, y que á su vez servirán despues para unir á éste el enlucido de que se compone el techo. La capa de yeso puede tener sobre el entablonado un espesor casi constante, como se ve en *A*, ó puede afectar la forma de bóveda invertida como en *B*, en cuyo caso conviene picar con la azuela las caras laterales de los cábios, ó clavetearlos con hijuelas para que la adherencia sea bastante grande. Una vez hecha la parte inferior del forjado, se le termina por la superior estableciendo sobre los cabios un guarnecido contínuo de latas, encima del que se extiende la capa de yeso de 4 á 6 centímetros, segun se ha visto al principio de este número. Este forjado tiene sobre el anterior la ventaja de ser mucho más ligero, satisfaciendo al propio tiempo las demás condiciones establecidas para esta construccion.

267. **Forjado en los entramados de hierro.**—Se ha visto anteriormente (254 á 257) los diversos sistemas de arriostrado que pueden adoptarse cuando es de hierro el entramado del suelo, y ahora vamos á examinar los forjados que parecen más convenientes en cada caso.

Si el arriostrado se hace con piezas de madera, se construye un forjado hueco, á cuyo fin se empieza por clavar en la cara inferior de las riostras, y cruzándolas á ángulo recto, un guarnecido de las latas, que dejen entre sí un claro de 1 á 2 centímetros. Hecho esto, se vierte encima una capa de yeso,

mortero y hasta hormigon fino, del mismo modo que se acaba de decir para el forjado hueco. La parte superior del mismo se puede establecer tambien, como se ha dicho en el número anterior, formando un entablado sobre las riostras si la altura de éstas alcanza ó excede á la de la cabeza superior de los cuchillos, ó bien en el caso contrario, clavando sobre aquellas y en direccion paralela á éstos, piezas de madera que tengan la altura conveniente para clavar á ellas el guarnecido superior que ocupe todo el suelo.

En el caso de formarse el arriostrado por medio de barras ó varillas de hierro, segun cualquiera de las disposiciones que aparecen en las figs. 387 á 390, se suele establecer tambien un forjado hueco cuya parte inferior es de yeso, como ya se ha dicho en otros casos anteriores. Para construirle se empieza por colocar un sistema de barretas de $0,^{m}01 \times 0,^{m}01$ de escuadría próximamente que cruzan al arriostrado y descansan sobre él como aparece en *rr* (figs. 391 á 394): hecho ésto, se sitúa un tablero horizontal cuya cara superior esté en contacto con la cabeza inferior de los cuchillos y bien sostenido inferiormente con puntales; despues se vierte sobre el tablero la capa de yeso necesaria para que se recubran las barretas que ligan el arriostrado y se cuida de no quitar el tablero hasta que haya fraguado perfectamente el yeso del relleno. La parte superior del forjado puede ejecutarse estableciendo viguetas que crucen á los cuchillos, las cuales presentan en su cara inferior muescas ó rebajos en donde vienen á encajar las cabezas superiores de éstos, y sobre las viguetas se puede construir directamente el piso, si es un entarimado, como se ve en las figuras, ó bien se clava un guarnecido contínuo de latas sobre el que se vierte la capa de yeso de que ya hemos hablado en otros casos.

Aun con el mismo arriostrado de hierro se pueden establecer las barretas de modo que dejen entre sí un intervalo constante é igual á la longitud de los ladrillos huecos que con preferencia se emplean en el forjado. Estos se colocan apoyando sus extremos sobre las barretas, que en este caso suelen tener hasta $0,^{m}04$ y $0,^{m}05$ de ancho, tal como aparece en la figura 393, tomándose bien con yeso las juntas entre los ladrillos, con objeto de que formen un solo todo. Los ladrillos pueden tener bastante altura para enrasar con la cabeza superior de los

cuchillos ó bien se pueden poner dos capas con este fin, y en cualquiera de estos casos se establece desde luego encima el pavimento superior; pero en el caso contrario, se hace el forjado superior como se acaba de indicar en el número precedente.

Sin embargo de lo dicho, el carácter distintivo de los suelos formados con cuchillos de hierro, ya sean éstos de seccion en forma de T doble ó ya en la ménos empleada de V invertida, consiste en poder suprimir el arriostrado, haciendo sus veces el relleno ó forjado. Para esto se empieza por establecer entre cada dos cuchillos contíguos, que regularmente distan entre sí de 0,75 á 1,50 metros, una pequeña cimbra ó galápago sobre la que se construye una bovedilla (fig. 330) del conveniente espesor, formada de ladrillos huecos; y con el objeto de que los arranques de la bovedilla se unan bien á los cuchillos, se rellenan unas veces los huecos triangulares que resultan *dfe* con hormigon ó yeso, y otras se da á los ladrillos de los arranques la forma conveniente para ocupar estos huecos, ó bien se los hace apoyar sobre unas placas de fundicion que descansan en la cabeza inferior y en el nérvio de los cuchillos, segun indica la figura en *de* que, como ya se ha dicho, representa una seccion del suelo construido en el mercado de la plaza de la Cebada de Madrid. El último sistema, aunque más rápido en la ejecucion, es bastante más caro y carga más el suelo que si se emplearan ladrillos en forma de cuña apoyándose en el nérvio y cabeza inferior de los cuchillos.

Las juntas de los ladrillos se toman con mortero de cemento ó con yeso segun los casos, y encima se forma un relleno de hormigon, escombros finos ó arena, que puede aligerarse colocando tubos de alfarería ó ladrillos huecos, hasta enrasar con las cabezas superiores de los cuchillos.

Por último, á veces se pueden reemplazar las bovedillas de ladrillo por las chapas de palastro de que se habló en el número 255, verificándose el resto del relleno como se acaba de exponer.

Tambien se emplean, sin relleno alguno, chapas cóncavas inferiormente, con un reborde plano de forma cuadrada ó rectangular que se roblona á la cabeza superior de los cuchillos, como se indica en el núm. 307 al tratar de las armaduras de hierro.

268. **Observacion.**—Todos los forjados descritos y muchos más de que no se ha hecho mérito, porque no son más que variantes ó modificaciones de los primeros, satisfacen de una manera más ó ménos cumplida á las condiciones generales que deben llenar, y tienen aplicacion justificada en los edificios, segun sea la importancia ó riqueza de éstos. Puede admitirse en tésis general que los suelos de entramado de madera tienen su mayor aplicacion en los edificios particulares de no gran importancia, al paso que los de hierro se destinan ordinariamente á los edificios públicos ó en los que se exija grandes luces y resistencia en los suelos; si bien se nota marcada tendencia á que los segundos reemplacen en muchos casos á los primeros.

ARTÍCULO III.

Pavimentos.

269. **Su objeto.**—Como ya se ha dicho al principio de este capítulo, los suelos deben presentar en su cara superior una superficie igual para que el tránsito sea cómodo y esto es lo que forma el pavimento, el que además de tener la dureza necesaria para que no se degrade por los frecuentes rozamientos á que está expuesto, deberá poseer la cualidad de no pulimentarse por el tránsito, pues de lo contrario haria la marcha peligrosa.

Los dos materiales que más generalmente se emplean con este objeto son las maderas y las piedras naturales ó artificiales, dando lugar en cada caso á las denominaciones genéricas de *entarimados* y *embaldosados*. Tambien se suele emplear, aunque pocas veces, el hierro y otras sustancias sobre las que se harán ligeras indicaciones.

270. **Entarimados.**—Para construir los entarimados se empieza por establecer sobre la cara superior del forjado varias medias viguetas ó *dobleros* en posicion paralela entre sí y que dejen un intervalo de 0,m25 á 0,m50. La direccion de estos dobleros es perpendicular á la de las viguetas si el entramado es de madera y se clavan á éstas para fijar su posicion; pero si el entramado fuese de hierro se practican, en la cara inferior de aquellos, rebajos que abarcan la cabeza de los cuchillos, como se ve en las figuras 391 á 394; y si la cara superior del entramado estuviese recubierta por el relleno, se unen á éste los do-

bleros con algunas pelladas de yeso. A veces se suprimen los dobleros y se coloca desde luego el entarimado sobre las viguetas, cuando el entramado es de madera, como se ha indicado más atrás (266). El espesor ordinario del entarimado es de 0,^{m}035, aunque puede variar de 0,^{m}027 hasta 0,^{m}054 para los pisos bajos, y la madera que más se emplea es el pino ó mejor el roble, aunque más caro.

De cualquier manera que sea, y una vez teniendo las piezas horizontales sobre que va á ponerse el entarimado y cuyas caras superiores deberán estar en un plano horizontal, se colócan tablas chillas *aa*, *bb* (fig. 426, parte *A*.) cruzando á dichas piezas, á las que se clavan con dos ó tres clavos ó puntas de París, puestas en direccion diagonal en la parte central de las tablas y paralelas á sus cabezas en los empalmes *c*, que deben estar interrumpidos de una fila á otra y caer en el centro de un doblero. Las tablas se cepillan por lo ménos en su cara superior, y cada fila se ensambla con las contíguas á ranura y lengüeta. Cuando se exige más esmero en el entarimado, como se ve en la parte *B* de la misma figura, se emplean tablas mucho más estrechas que las anteriores, llamadas generalmente *tabletas*, cuyo ancho no pasa de 8 á 12 centímetros, de las que se cepillan las dos caras opuestas, así como tambien la cara superior de los dobleros, para que resulte una superficie bien igual sin necesidad de verificar un cepillado general, como se suele hacer en el caso anterior. La union de las tablas entre sí y con los dobleros tiene lugar de la misma manera en ambos casos, y por el poco ancho que aquellas tienen ahora se abren muy poco las juntas, aunque se alabeen algo por no estar bien curadas. Este entarimado, que se llama *á la inglesa*, se limita en el contorno de la habitacion por un marco con el que se ensambla á ranura y lengüeta, segun se representa en la figura.

Otras veces se colocan las tablas del entarimado en direccion oblícua respecto á los dobleros (parte *C*) y ya conservan su forma rectangular como se representa en *dd*, dándosele entonces el nombre de entarimado en *punto de Hungría*, ó ya presentan cortes á inglete, segun aparece en *ee*, llamándosele en *espina de pescado*. En ambos casos las tablas, que tienen el ancho del entarimado á la inglesa, se unen entre sí lateralmente á ranura y lengüeta.

Por último, se emplean tambien con el mismo objeto tableros cuadrados ó rectangulares, hechos con maderas finas y de varios colores, que unas veces se unen á ranura y lengüeta unos á otros, clavándolos además á los dobleros, y otras se fijan á piezas clavadas sobre éstos, las cuales forman recuadros y tienen en sus caras verticales ó de espesor las ranuras en donde encajan los tableros. Sin embargo, lo más general es establecer estos tableros sobre un entarimado inferior, á fin de aumentar la resistencia del pavimento y disminuir su deformacion.

Los entarimados pueden hacerse tambien dobles, en cuyo caso se clava sobre el entramado de madera un guarnecido de tablas y sobre éste se ponen los dobleros que sirven de base al verdadero entarimado: el intervalo entre las dos capas de tablas se rellena con escombros finos ó musgo seco y bien comprimido. Estos entarimados dobles tienen en el dia muy poca aplicacion.

Generalmente se emplean en los entarimados las puntas de París, cuya longitud venga á ser de dos á tres veces el grueso de las tablas, embutiendo en éstas sus cabezas, y haciendo que queden algo más bajas, á fin de que al cepillar la superficie no tropiece en ellas el hierro del cepillo. Las depresiones que resultan al embutir estas cabezas se rellenan con mastic. Tambien se emplean para el mismo objeto clavos cuyo vástago es más ancho que grueso y que tienen la cabeza oblonga, los cuales se clavan de manera que lo ancho del vástago corte normalmente á las fibras de la madera. Conviene siempre practicar préviamente pequeños rebajos para que encajen en ellos las cabezas de los clavos y despues se tapa el hueco que resulta con un pequeño pedazo de madera bien ajustada y encolada, cuyas fibras sean paralelas á las de las tablas, introduciéndole á martillo y cepillándole despues.

Tambien se pueden unir las tablas haciendo uso de tornillos de madera ó de hierro, y en ambos casos conviene que la cabeza no llegue al paramento del entarimado, á cuyo fin se practican rebajos cilíndricos de algunos milímetros de profundidad. Si se quiere igualar la superficie entre las cabezas de los tornillos y el entarimado, se tapan los rebajos con pedazos de madera, como se acaba de decir.

La union lateral de las tablas puede verificarse de diversas

maneras, como se representa en planta y seccion trasversal en las figuras 427 á 429. En la última se disponen las ranuras y lengüetas de modo que resulten ocultos los clavos ó tornillos que fijan cada tabla á los dobleros, cubriéndolos la tabla contígua, que se coloca despues. Este sistema, á la vez sólido y esmerado, se emplea con mucha frecuencia.

Siempre que la tablazon empleada en un entarimado no esté perfectamente curada, es conveniente no fijarla á los dobleros sino de una manera provisional y dejarla en este estado un año por lo ménos, á fin de que pueda contraerse lo necesario. Al cabo de este tiempo se la fija definitivamente sin tantos riesgos de que se ocasionen desuniones por esta causa. Esta precaucion pudiera tambien ser útil aun con maderas secas ó curadas.

271. **Embaldosados.**—Una vez verificado el relleno hasta que resulte en la cara superior una superficie próximamente horizontal, se empieza por extender una capa de yeso de unos $0,^{m}04$ de espesor, cuya cara superior se hace que sea plana y horizontal. Si la construccion fuera de poca importancia, como sucede en los edificios rurales, ó si el pavimento se destinase á graneros ó desvanes, pudiera servir, y así se ve en muchos casos, como pavimento esta capa de yeso, que se alisa en su cara superior para que resulte lo más igual posible; pero en las habitaciones destinadas á un paso frecuente no tiene este material buena aplicacion, puesto que el tránsito le destruye y reduce á polvo en poco tiempo.

Cuando se construyen embaldosados propiamente dichos se comienza por establecer la referida capa de yeso, como se acaba de decir, y encima se extiende otra de escombros finos, polvo y á veces de tierra tamizada, que tiene de $0,^{m}03$ á $0,^{m}08$ de espesor, segun la mayor ó menor regularidad de la capa de yeso, y teniendo cuidado de que la cara superior resulte bien horizontal. Sobre esta cama de escombros ó tierra se colocan á baño flotante de yeso las baldosas *aa* fig. 430 del contorno de la habitacion, que forman así un marco de limitacion llamado *cinta*. Es preciso tener mucho cuidado en la colocacion de estas baldosas de la cinta, á fin de que resulten en un plano perfectamente horizontal, á cuyo objeto se comprueba con frecuencia su posicion por medio de un reglon de $1,^{m}50$ de largo próximamente y un nivel. Hecho esto, se comienza el relleno del

pavimento empezando por un ángulo y comprobando la posicion de las baldosas ó baldosines interiores á la cinta por medio del reglon que se apoya sobre los dos lados contíguos de ésta, de modo que el relleno se lleva segun líneas diagonales, como *bb*, *cc*. Cuando estas diagonales resulten muy largas, se coloca primero en la parte central una baldosa que sirve de maestra ó guía y cuya altura se fija apoyando sobre ella un extremo del reglon y el otro sobre la cinta, y comprobándole con el nivel. Siempre es conveniente comprobar tambien la posicion de ciertas líneas; así es que en el caso que aquí se considera se hará que los vértices *dd* se encuentren en línea recta, y además, deberá cuidarse de que los operarios ejecuten su trabajo desde la parte no embaldosada, á fin de no deformar el pavimento.

En los embaldosados se suele hacer uso del yeso para el asiento de las baldosas y su mútua union, y con objeto de que no fragüe con demasiada rapidez se le amasa bastante fluido y á veces se le mezcla con cierta cantidad de hollin. Es conveniente que el yeso de las juntas no llegue á la superficie, por lo que ya se ha dicho, y con este objeto se hace que las baldosas tengan la forma de troncos de pirámide en vez de prismas y las juntas aparecen lo más estrechas posible en la superficie. Si los embaldosados hubieran de estar á la intemperie, como se verá al tratar de las azoteas, es necesario reemplazar el yeso con morteros de cemento ó cal hidráulica, segun los casos; pero cuando se encuentren á cubierto y no sea necesario mucho esmero se pueden emplear hasta morteros de arcilla.

Segun sea la riqueza de los embaldosados, se pueden poner dos ó más fajas para formar la cinta, y para el relleno se adoptan baldosas y baldosines de formas, colores y dimensiones sumamente variadas y cuyo conveniente enlace constituye la ornamentacion del pavimento. Como ejemplo de las numerosas combinaciones que existen con este propósito se presentan las figuras 431 á 433 (lám. 19).

Cuando no sea necesario gran esmero, se sustituyen las baldosas con ladrillos formando *enladrillados*, que se ejecutan exactamente de la misma manera que los embaldosados. En los pisos altos no se suele emplear más que una capa de ladrillos puestos de plano; pero en los bajos se ponen á veces ya de plano ó ya de canto (figuras 434 y 435) formando diversas

combinaciones, ó bien se sobreponen varias capas de ladrillos de plano ó de canto, cuyas juntas se crucen.

Los ladrillos deben estar perfectamente cocidos para resistir bien al tránsito.

272. **Mosáicos.**—Cuando las dimensiones de los baldosines se reducen notablemente, el embaldosado recibe el nombre de *mosáico*; pero como este material es distinto de los que acabamos de examinar, y posee ventajas que han extendido en gran manera su empleo en las construcciones de cierta riqueza, creemos oportuno indicar su fabricacion.

Por medio de los mosáicos se pueden reproducir cuadros y pinturas de todas clases y á este fin se empieza por establecer una cradrícula más ó ménos tupida sobre la pintura que se trata de copiar; despues se corta mármol de diversos colores en forma de prismas, cuyas bases sean iguales á la red de la cuadrícula, ó mucho menores si ésta fuese grande, y se van colocando insistiendo por sus bases sobre una superficie plana y horizontal, de modo que el color de cada prisma sea igual al que representa en la cuadrícula ó en la parte de la misma que le corresponda y en perfecto contacto con los prismas contíguos: cuando hay así cierto número, se ata una cuerda alrededor para sujetarlos.

Hecho esto, se extiende sobre los prismas una capa de cemento algo fluido que penetrando entre los intersticios los liga perfectamente al fraguar y además los recubre, formando un cierto espesor que enlaza el conjunto. De esta manera se tiene una baldosa más ó menos grande de mosáico que se deja en este estado algun tiempo hasta secarse, volviéndola despues lo de arriba abajo para que quede aparente la cara que estaba en contacto con la superficie plana.

Esta cara se pulimenta, y despues se van colocando las diversas baldosas así formadas en el lugar que deben ocupar, haciendo que ajusten perfectamente unas con otras, como se ha dicho en los embaldosados ordinarios.

Otras veces se forman los mosáicos con rocas cuarzosas y feldespáticas en lugar de mármoles, lo que proporciona una gran dureza y colores ricos y variados, si bien resultan mucho más caros que los anteriores. Entre esta clase de mosáicos, conocidos en Italia con el nombre de *Terrazzi*, se distinguen

de los llamados florentinos por su dureza y brillantez de colores.

273. **Embaldosados diversos.**—Tambien se emplean en los pavimentos baldosas más ó ménos grandes fabricadas con cementos ó cales muy hidráulicas, solos ó mezclados con otras materias; y en algunos casos se ha hecho uso de baldosas y otras piedras artificiales, compuestas principalmente de yeso, al que se añade una pequeña cantidad de cal, alumbre y á veces gelatina con cierta parte de arena; pero este último material no presenta tan buenas cualidades como el primero. En algunas ocasiones se ha hecho uso con el mismo objeto de placas de fundicion, de 0,^{m}01 de grueso próximamente, estriadas por su cara superior y reforzada la inferior con nérvios, las cuales se colocan simplemente las unas al lado de las otras, sin enlazarse con ningun ensamblaje, pero preparando convenientemente el relleno ó dobleros, segun los casos. Tiene, sin embargo, este pavimento los inconvenientes de su color oscuro, de ser muy conductor del calor y difícil de mantener limpio por las estrías y de pulimentarse demasiado por el tránsito; así es que tiene pocas aplicaciones en el dia.

Por último, se emplea igualmente el vidrio para los pavimentos; pero siempre en superficies muy pequeñas y cuando no hay otro medio de dar luz á la habitacion inferior, como sucede á veces en los sótanos. En este caso se practica en el suelo la abertura que ha de servir de tragaluz, á la que se fija un bastidor que se cubre con un grueso vidrio de unos 0,^{m}30 á 0,^{m}40 de lado, y cuya cara superior está esmerilada á fin de impedir que se vea á través de él y evitar resbalamientos. Es conveniente que el vidrio descanse sobre un rebajo del marco, que se reviste con un cuerpo elástico.

Aunque tambien se emplea con el mismo objeto el asfalto para los vestíbulos, patios, etc., no es esta su principal aplicacion sino en las vías públicas, y por esta causa trataremos de esto más adelante, en los enlosados y empedrados.

ARTÍCULO IV.

Techos.

274. **Su objeto.**—La cara inferior de los suelos es lo que constituye el techo, que queda aparente para el observador si-

tuado en la habitacion inferior. Esta parte no está llamada á contrarestar la accion de fuerzas exteriores ni á sufrir el rozamiento ocasionado por el tránsito, como sucede en las demás; así es que su principal objeto se reduce á regularizar la superficie inferior del suelo, y en tal concepto participa más del carácter de ornamentacion que del de construccion. Sin embargo de esto, describiremos la manera de ejecutar los techos en los casos ordinarios de la práctica.

Dos sistemas pueden seguirse en la construccion de un techo, cualquiera que sea la naturaleza del entramado que le sostenga, y son: primero, que quede visible este entramado, revelando así el sistema de construccion del suelo; y segundo, que el entramado quede oculto.

275. **Techos de entramados aparentes.**—En los suelos cuyo entramado es de fábrica, ésta queda muchas veces aparente; y en algunos edificios monumentales antiguos, en los que se ha empleado con este objeto la sillería, se han adornado las caras inferiores de los sillares ó dovelas con líneas y almohadillados, formando recuadros, artesonados y hasta relieves ó esculturas, con más ó ménos gusto y riqueza. En los casos ordinarios en que se emplee el ladrillo, éste queda visible tambien dando á conocer la construccion del suelo, y se ven numerosos ejemplos de ésto en edificios de mucha importancia.

Muy variadas son las disposiciones que se adoptan en los techos cuando el entramado es de madera y se quiere que resulte visible. La parte inferior de las vigas y viguetas se regulariza para que presenten aristas vivas y paralelas y á veces se reemplazan estas aristas por molduras más ó ménos ricas. Si las maderas empleadas en el entramado no se prestasen por su forma á estas operaciones, se las recubre con un chapeado, en el que se forman los adornos convenientes. Establecido de esta manera el entramado y colocando trasversalmente á las viguetas los zoquetes ó gatillos que sirven para consolidarlas, como se verifica en muchos casos, se tiene en la cara inferior del suelo una red de rectángulos ó cuadrados cuyos claros se cubren con yeso, mortero ó más generalmente con tableros más ó ménos ricos, colocados en la parte superior del entramado ó en un punto intermedio de su espesor. Las figs. 436 y 437 harán más perceptible esta disposicion por los cortes superiores y

la proyeccion horizontal inferior. La viga *aa* descansa en sus extremos sobre la pilastra *bb* y está adornada con molduras, como se vé en el corte trasversal. Sobre ésta vienen á insistir las viguetas *cc*, que por su parte inferior presentan pequeñas molduras á fin de reducir el ancho de la cara plana y dar realce á los recuadros, haciéndose otro tanto con los gatillos *dd*. Los claros que resultan se llenan con pequeños tableros adornados en la parte central é inferior con un floron ú otro objeto, los cuales se sostienen clavando á su alrededor, en el recuadro, un pequeño liston con molduras que oculta al mismo tiempo las juntas.

Puede simplificarse la construccion suprimiendo los gatillos y corriendo los tableros entre dos viguetas, segun se vé en la parte inferior de la fig. 437. Tambien se pueden reducir al extremo estas operaciones, con arreglo á lo expuesto en el número 266.

Estos techos, que reciben el nombre genérico de *artesonados*, son susceptibles de presentar una gran riqueza, así en molduras y tallados como en pinturas más ó ménos brillantes, y han tenido gran aplicacion en las construcciones importantes de los siglos XV, XVI y XVII, y hasta en nuestros dias.

En el caso de pertenecer el techo á los conocidos con el nombre de bovedilla, éstas se recubren con un enlucido, como se dijo al tratar de los muros, y la parte de entramado que queda visible se pinta con colores que armonicen con los del enlucido.

Ya se han visto los diversos forjados que pueden adoptarse para los suelos cuyo entramado es de hierro; y aquí solo es necesario decir que la parte inferior de los cuchillos se pinta segun se ha dicho en otra ocasion; y la bovedilla, que en muchos casos los liga, se enluce como se acaba de indicar, ó bien se deja aparente la fábrica de que está formada, segun se ve en muchos sótanos, en fábricas y otros edificios de carácter análogo. Si el forjado es hueco, no suele aparecer en el techo el entramado; pero en otras circunstancias queda visible, como se dijo al tratar del Colegio Chaptal de París, y en tal caso se pintan los hierros y se enluce el relleno con arreglo á lo que se ha expuesto anteriormente.

276. **Techos de entramados ocultos.**—Desde luego se com-

prende que cuando el entramado del suelo sea de fábrica y no deba quedar aparente, como sucede en la mayor parte de los casos, bastará recubrir su cara inferior con un enlucido, revoque ó estucado, que se ejecuta como se dijo al tratar de estas operaciones en la construccion de los muros.

Si el entramado fuese de madera y solo entrasen viguetas en su composicion, se principia por clavar á la cara inferior de éstas un enlatado, si es que no se hubiera tenido que poner antes para la ejecucion del forjado, como se dijo en el art. II: conviene que la cara inferior de éste presente bastantes asperezas para facilitar la adherencia del tendido de yeso inferior. Otras veces se aumenta esta adherencia entomizando las latas, y otras, por fin, se obtiene la superficie de que se trata de una manera sencilla, reemplazando el enlatado por cañizos que se clavan perfectamente á las viguetas. Teniendo de esta manera la superficie horizontal sobre la que se ha de adherir el techo, se empieza por formar una tirada ó maestra de yeso *m* (figura 425) alrededor del mismo, que fija, no solo el grueso de éste, sino tambien el del enlucido de los muros de recinto. Despues de establecer en el espacio que comprende la maestra un tendido de yeso que se arroja con fuerza para que se adhiera bien á los cañizos ó al guarnecido, y una vez igualado toscamente con la talocha, se le recubre con un enlucido de yeso fino. Estas dos capas forman un grueso que no suele pasar de 0,^{m}03, y se ha de cuidar de ejecutarlas con esmero para que no se produzcan agrietamientos al secarse el cielo raso que resulta. Cuando se compone el entramado de vigas y viguetas, y se quiere formar un cielo raso, se empieza por establecer un falso entramado muy ligero, cuya cara inferior enrase con la de las vigas, á las que se fija unas veces á caja y espiga, otras á ranuras, y otras, por fin, y más generalmente, solo con clavazon, á causa del poco peso que tiene que sufrir, segun aparece en la fig. 438.

El guarnecido de latas ó los cañizos se clavan á este falso entramado, y se termina la construccion como se ha dicho en el caso anterior. Sin embargo, cuando las dimensiones del suelo son grandes tienen el inconveniente de ser muy elásticos, sobre todo si se emplean maderas resinosas, y es fácil que las vibraciones degraden los techos de yeso, ó por lo ménos los

hiendan; pero en tal caso es preferible la adopcion de entramados de hierro, como ya se ha dicho. Algunas veces quedan aparentes las vigas y ocultas las viguetas, á las que se fija entonces el guarnecido.

Finalmente, cuando el suelo es de entramado de hierro, se puede formar el cielo raso clavando el guarnecido á las riostras de madera que en algunos casos se emplean, segun hemos ya dicho, ó bien colocando, si fuera necesario, falsas riostras de madera, apoyadas tambien sobre las cabezas inferiores de los cuchillos y apretando sus nérvios verticales, á las que se puede clavar por debajo el enlatado. Para los rellenos de yeso que se emplean cuando el arriostrado es de hierro, se tiene ya en la cara inferior del suelo una superficie contínua, á la que se hace adherir el tendido y enlucido que forman el techo, siguiendo el procedimiento expuesto más arriba, y del mismo modo se procede cuando el forjado es de ladrillo.

277. **Observacion.**—A fin de evitar grietas y deformaciones ulteriores en los techos, y más principalmente cuando forman cielos rasos, es necesario que todo el yeso empleado presente la misma consistencia y sea homogéneo. Una vez terminado el techo, se ejecuta el enlucido de las paredes contiguas, como ya se ha dicho.

Los rosetones ó cornisas de yeso que adornan los techos ó sirven para enlazarlos con los muros de las habitaciones, se realizan despues de concluidos éstos; cuidando siempre de ligar bien estas diversas partes, ó uniendo directamente los primeros con el entramado del suelo ó el cuerpo de las paredes, con objeto de que posean la conveniente solidez, sobre todo si presentan grandes vuelos ó salientes.

CAPÍTULO V.

Cubiertas.

ARTÍCULO I.

Preliminares.

278. **Objeto y condiciones que deben llenar.**—Se da el nombre de cubierta á la construccion más ó ménos inclinada que cubre los edificios y sirve para preservarlos de las intem-

peries. Dado su objeto, fácilmente se conoce que, á más de las condiciones generales de solidez y economía, deben llenar, de la manera más eficaz posible, la de ser impermeables á la humedad y demás agentes exteriores.

Dos partes del todo distintas entran en la formacion de las cubiertas, que son: la *armadura* y el *tejado* ó *cubierto*. La primera, análogamente á lo que sucede con los entramados en los suelos, tiene por objeto servir de apoyo á éste, y puede estar formada de varias clases de materiales; y el segundo debe tener la propiedad de ser lo más impermeable posible y dar fácil salida á las aguas llovedizas, adoptándose con este fin sustancias y disposiciones muy diversas, de que nos ocuparemos más adelante.

279. **Clasificacion de las cubiertas.**—La superficie superior de los suelos es siempre horizontal; pero no sucede lo mismo con las cubiertas, cuya inclinacion es sumamente variable y depende principalmente en cada caso particular de la importancia del edificio, de la forma que afecta la extension que se trata de cubrir, y de la naturaleza de los materiales que han de formar el tejado; y en este concepto, se las divide en cubiertas *planas* y *curvas*.

Las primeras pueden ser de una sola vertiente (fig. 439) ó *en tejadillo*, ó bien de dos vertientes (fig. 440), presentando dos planos de desagüe que parten del *caballete*, ó sea de la arista horizontal superior *zz* y terminan en la coronacion de los muros, apoyándose lateralmente en los otros muros ó entramados que por la parte superior acaban en forma triangular, la cual recibe el nombre de *piñon*. Pero si la cornisa que suele correr horizontalmente en el arranque de la cubierta se inclina al llegar al muro apiñonado, siguiendo la inclinacion de éste, y además las molduras se corren horizontalmente, segun *cd* (figura 441), entonces recibe el conjunto el nombre de *fronton*, y de *tímpano* el espacio triangular *ced*. Si se quiere que desaparezcan estas partes triangulares de los muros, se las reemplaza por planos inclinados de forma triangular, llamados *petos* ó *faldones*, formándose de este modo la cubierta de *cuatro vertientes* (fig. 442): y si las cuatro vertientes ó faldones son de forma triangular (fig. 443), entonces se dice que la cubierta es *de pabellon*, y forma una pirámide cuadrangular, que tambien pue-

de tener la posicion indicada en la fig. 444, dejando en los cuatro muros del edificio otros tantos piñones ó frontones. En general se llaman *cubiertas poligonales* las compuestas de cinco ó más vertientes que se encuentran formando aristas salientes, y los planos que las componen pueden reunirse superiormente en un vértice ó bien encontrarse interrumpidos por una parte horizontal ó por otra porcion de cubierta cuyos faldones tengan distinta inclinacion que los inferiores, segun se ve en las figuras 445 y 446. Tambien se construyen cubiertas que reciben el nombre de *quebrantadas* ó *quebradas*, siendo de notar entre ellas las llamadas de Mansard (a), las cuales tienen las vertientes de la parte inferior casi verticales y las de la superior muy poco inclinadas (fig. 447); y aunque su empleo presenta bastantes inconvenientes y no está justificado en nuestro clima, la moda las ha adoptado, sin razon, en varios edificios modernos é importantes levantados en Madrid. Otra especie de cubiertas quebrantadas es la que aparece en la figura 448, que presenta en la parte superior una concavidad con objeto de evitar que resulten demasiado altas; pero en cambio tienen el grave inconveniente de que se reune y permanece la nieve en la depresion, ocasionando la humedad consiguiente. Cuando la inclinacion de las vertientes de la cubierta es mayor que 45°, ésta es peraltada; y si menor, rebajada.

Las cubiertas curvas tienen en general la forma de superficies cilíndricas, cónicas ó esféricas, dando lugar á las galerías, agujas, flechas y cúpulas con que terminan notables construcciones. Hay circunstancias en las que es preciso adoptar otras superficies para la formacion de la cubierta, como sucede cuando la planta es irregular (fig. 449); en cuyo caso la vertiente *abcd*, limitada superior é inferiormente por las dos horizontales *ab* y *cd*, tiene que afectar la forma de superficie alabeada.

Las cubiertas hasta aquí enumeradas reciben el nombre genérico de *simples*, y se llaman *compuestas* á las que resultan de la union de varias simples, ya sean planas ó curvas, dando lugar á combinaciones sumamente numerosas.

(a) Francisco Mansard, célebre arquitecto francés. Nació en París en 1598 y murió en 1666. Proyectó las fachadas del Louvre; llevó á cabo otras construcciones importantes, é inventó, ó por lo ménos vulgarizó, la cubierta de que se trata en el texto.

280. **Inclinacion de las cubiertas.**—De la naturaleza y disposicion de los materiales que forman el tejado y del clima en que se encuentre, depende la inclinacion que deba dársele.

En cuanto á los primeros, se comprende fácilmente que empleando materiales más ó ménos absorbentes, como las tejas, pizarras, planchas de zinc, etc., que se recubren unos á otros, el agua podrá pasar y subir por sus juntas ó solapes en virtud de la capilaridad y de los vientos horizontales, chocando sobre la superficie inclinada de la cubierta; al paso que si ésta se forma de una sola pieza, como se conseguiria soldando perfectamente entre sí varías planchas de plomo, por ejemplo, se impediria que la humedad pasara al interior del edificio. Bajo este punto de vista, y no siendo posible en la generalidad de los casos adoptar la segunda solucion, por razones que se expondrán más adelante, es conveniente aumentar la inclinacion de la cubierta, tanto más, cuanto más absorbente sea el material empleado y mayor el número de juntas; pero este aumento de inclinacion lleva consigo un aumento en la longitud de las piezas que sostienen la cubierta y en la superficie de ésta. Por otra parte, una pequeña inclinacion exige piezas de menor longitud, pero de mayor escuadría, que en definitiva ocasiona mayores gastos; el solape de los materiales que forman el tejado debe ser mayor, para impedir que el agua ascienda por las juntas, y los golpes de viento impetuoso pueden levantar y hasta arrancar las tejas y pizarras; además, esta solucion no permite aprovechar en tan buenas condiciones como la anterior, para desvanes ó buhardillas, el espacio que resulta bajo la cubierta.

La influencia que ejerce el clima en la inclinacion de estas obras se comprende desde luego, puesto que si la atmósfera se encuentra ordinariamente húmeda, es más fácil que el agua suba por las juntas en virtud de la accion capilar, á causa de renovarse constantemente la humedad, al paso que estando seca, gran parte del agua llovediza se absorbe por los materiales, y otra parte se desprende por la evaporacion.

Como consecuencia de estas consideraciones, se ha tratado de dar reglas fijas para determinar la inclinacion de las cubiertas en funcion de los materiales que forman el tejado y de la latitud geográfica del lugar; pero sus resultados no están de acuerdo con las conveniencias y necesidades de muchos casos;

así es que no pueden aceptarse en la construccion. En el Norte de Europa se adoptan inclinaciones que llegan á 60° y más; y si bien se facilita así el desprendimiento de las aguas de lluvia y hasta de la nieve (a), no es necesario llegar generalmente en nuestro clima hasta este límite.

De todos modos, es conveniente en cada caso particular tener muy en cuenta las inclinaciones que la experiencia haya consagrado como preferibles en la localidad ó en sus inmediaciones, y no separarse mucho de las admitidas, á no ser que haya un cambio marcado en el clima ó se haga uso de materiales distintos de los empleados hasta entonces.

El siguiente cuadro determina los límites máximo y mínimo de inclinacion que deben adoptarse en nuestros climas, así como el peso del metro cuadrado de cubierta de cada clase de material, de donde se deduce las cargas á que darán lugar.

(a) Se admite que el peso de una capa de nieve equivale al décimo del de una capa de agua de igual espesor y superficie, la cual puede en algunos casos producir una sobrecarga de importancia que fatigue á las piezas que sostienen la cubierta.

Cuadro de las inclinaciones y de los pesos de las cubiertas más en uso.

NATURALEZA DE LA cubierta.	Inclinacion de la misma en grados.	Peso del metro cuadrado en kilógramos.	Número de piezas por metro cuadrado.	DIMENSIONES DE LAS PIEZAS. Longitud en metros.	Latitud en metros.	Grueso en metros.	OBSERVACIONES.
Entablado de encina.	45	44	55	0,406	0,135	0,011	
Idem de pino.	45	21	55	0,406	0,135	0,011	
Tejas planas, gran modelo.	27 á 33 45 á 60	82 á 85	42	0.311	0.230	0,016	Con menor espesor se puede reducir á 60 kilógramos.
Idem, pequeño idem.	Idem.	Idem.	64	0,257	0,183	0,014	
Tejas flamencas. . .	21 á 27	80	15 ¼	0,350	»	0,016	D. m. significa diámetro medio.
Tejas huecas en seco	21 á 27	74	15	0,359	D. m. 0,175	0,013	
Idem con mezcla. . .	27 á 31	136	15	Idem.	Idem.	Idem.	
Baldosas grandes. .	33 á 45	28	46	0,298	0,217	0,003	
Idem de pizarra. . .	Idem.	24	85	0,217	0,162	0,0025	
Idem medianas . . .	Idem.	28	59	0,271	0,189	0,003	
Cobre laminado (número 20).	18 á 25	6,11	»	1,40	1,14	0,0007	
Idem id. (núm. 25).	Idem.	7,64	»	Idem.	Idem.	0,0007	
Zinc (núm. 14). . . .	18 á 25	5,95	»	2,00	0,50	0,0009	
Idem (núm. 16). . .	Idem.	7,50	»	Idem.	0,80	0,0011	
Palastro	18 á 21	7 á 8	»	»	»	0,0007	
Idem galvanizado. .	Idem.	5,14	»	1,65 á 2,00	0,50 á 0,80	0,0007	
Idem id.	Idem.	7,80	»	Idem.	Idem.	0,0010	
Palastro ondulado. .	18 á 21	20	»	»	»	0,0015	
Plomo.	Idem.	40	»	»	»	0,0035	
Idem	Idem.	53	»	»	»	0,0045	
Mastic bituminoso. .	18 á 21	25	»	»	»	»	
Vidrio	Idem.	8	»	»	z	0,003	

281. **Observacion.**—Para las armaduras de hierro es preferible emplear cubiertas metálicas que tienen conveniente empleo cuando es pequeña la inclinacion. Cuanto más delgados son los materiales de una cubierta, tanto ménos superficie ofrecen sus rebordes á la accion del viento cuando tiende á levantarlos; además, es preferible emplear materiales de grande extension para que la cubierta presente ménos juntas ó soluciones de continuidad, por las que siempre tiende á penetrar más ó ménos la humedad.

ARTÍCULO II.

Armaduras.

282. **Su destino y clasificacion.**—Ya se ha dicho que la armadura tiene por objeto sostener la parte superior de la cubierta, y segun sean las circunstancias de cada caso se pueden emplear á este fin la fábrica, la madera y el hierro, como vamos á ver á continuacion.

283. **Armaduras de fábrica.**—Algunos grandes edificios, tanto antiguos como modernos, están cubiertos con bóvedas de fábrica, sobre las que insiste directamente el tejado; y en este concepto aquellas llenan el objeto de las armaduras y se las puede considerar como tales.

Respecto á la construccion de estas bóvedas; materiales preferibles para disminuir su empuje; aberturas que en ellas se practican y demás circunstancias, puede verse lo dicho en el capítulo III. Sin embargo, conviene advertir aquí que en muchos casos en que las bóvedas forman parte integrante de la cubierta de un edificio, no son una construccion contínua bajo el punto de vista de la resistencia, sino que presentan ciertas zonas que sirven de apoyo á las intermedias y sin las cuales éstas no podrian subsistir. Tales son los *arcos torales* que aparecen en dos proyecciones verticales segun ab y $a'b'$ (figs. 450 y 451), que se construyen en muchos cañones de grandes dimensiones, y los nervios ab, cd, (fig. 452), que caracterizan las bóvedas ogivales.

Esto no obstante, y á causa de los empujes que generalmente ocasionan sobre los muros que las sostienen, á no ser que se em-

pleen en la ejecucion de aquellas materiales elegidos y ligeros, sucede que en el dia tienen una aplicacion muy limitada estas armaduras, y se reemplazan, sobre todo en los grandes edificios, por las de madera y hierro que proporcionan, con la resistencia necesaria, mucha más facilidad en la ejecucion y mayor economía.

284. **Armaduras de madera.**—Análogamente á lo que se dijo en los entramados de madera de los suelos, al tratar de los sistemas llamados de tramos y radiales, las armaduras de que nos vamos á ocupar están compuestas de varios sistemas de piezas llamados *cuchillos, formas* ó *cerchas*, los cuales reemplazan á las vigas maestras de los suelos, y sirven tambien de apoyo á las otras piezas que sostienen la cubierta. Pero como la superficie exterior de ésta es siempre inclinada y de forma muy variable, de aquí la necesidad de examinar de una manera especial las disposiciones más frecuentes y ventajosas adoptadas para enlazar entre sí las piezas que componen una cercha ó cuchillo.

285. **Clasificacion.**—Con arreglo á esto y á lo consignado al principio de este capítulo, cada cercha termina por la parte superior segun líneas rectas ó curvas (figs. 453 y 454), y está compuesta de varias piezas situadas en el mismo plano vertical y ensambladas convenientemente. La separacion que de ordinario existe entre dos cerchas contíguas es de 3 á 4 metros. Bajo el punto de vista de la forma se dividen las cerchas en rectas y curvas, y ambas pueden tener una pieza especial *ab*, llamada tirante, que impide el empuje horizontal, ó en otros casos carecen de ella.

Pasemos ahora á examinar estas cuatro clases de cerchas y más adelante se expondrá la manera de sostenerlas en la posicion que deben ocupar.

286. **Cerchas rectas con tirantes.**—Las cerchas más sencillas de este género se componen de dos piezas *aa*, *bb* (fig. 455), llamas *pares* y del *tirante dd:* las dos primeras se ensamblan entre sí por sus extremos á media madera ó se cruzan, en cuyo caso recibe el nombre de *tijera*, y por la parte inferior se unen al tirante á espiga con barbilla. Estas cerchas tienen buena aplicacion para luces de 4 á 6 metros; pero si ésta fuera mayor es más económico introducir en el sistema algunas piezas nuevas que impidan la flexion de las demás.

La cercha representada en la fig. 456 consta de los pares *aa*, *bb*, que se ensamblan superiormente á espiga con barbilla á una pieza vertical *cc*, llamada *pendolon* é inferiormente al tirante *dd*, con la misma ensambladura ó solo á barbilla, y el pendolon se une por lo regular al tirante por medio de un estribo de hierro que abraza á éste y se fija al primero con clavazon ó pasadores. El objeto principal del pendolon es evitar la flexion del tirante; pero si además se quisiera impedir este efecto en los pares, se hace uso de un *puente* ó *falso tirante ff*, que se ensambla á ellos y al pendolon, ya siguiendo una direccion horizontal como aparece en la figura, ya quebrándose como se indica con las líneas de trazos, formando dos tornapuntas *ii*. Sin embargo, estos puentes debilitan á los pares en los puntos de su mútua union, pero es fácil salvar esta dificultad colocando los *contrapares gg* que sirven de refuerzo á los pares, ensamblándose inferiormente como éstos al tirante y á cuyos extremos superiores viene á ensamblarse á inglete el puente. Este se suele colocar á la mitad de la altura del pendolon cuando no hay contrapares, y si los hubiera se pone á los dos tercios á partir de abajo. Los pares y contrapares se ligan entre sí por medio de cinchos, pernos y cuñas, como se verá más adelante. En muchos casos, cuando los pares y el tirante son piezas sencillas que se ensamblan unas con otras, se adopta para pendolon dos piezas formando cepo, que sujetan á las demás por medio de pernos ó pasadores; é inversamente, hay ocasiones en que siendo piezas sencillas los pares y el pendolon se sujetan con tirantes y puentes en forma de cepo. Además se puede consolidar aún más este sistema de piezas con otras nuevas y dispuestas de muy diversas maneras, como es fácil ver en las obras especiales de Emy, Rondelet y otras varias; pero siempre debe cuidarse de conocer las fuerzas que actúan en la obra para que no haya piezas inútiles ó que cumplan imperfectamente con su objeto.

No siendo conveniente entrar aquí en la reseña de estas numerosas variantes, solo citaremos algunos ejemplos dignos de exámen.

En la fig. 457 se representa una cercha con la cual se pueden salvar luces de 20 á 24 metros y se compone de los dos pares *ab*, que se ensamblan inferiormente al tirante *dd*, y por la

parte superior al pendolon *pp*. Este se interrumpe al llegar al puente, que abraza con un estribo, y sostiene al tirante por medio de una barra de hierro sujeta á la parte inferior del estribo. El puente se une á los contrapares *ff*, que pueden seguir en toda su longitud en contacto con los pares, ó quebrarse inferiormente, como aparece en la figura, á fin de no debilitar el tirante acumulando en sus extremos las cajas ó rebajos consiguientes; pero en este caso es preciso reforzar el punto de union del contrapar y el tirante por medio de una zapata *h* y de un jabalcon ó palomilla *mm*: la parte superior del par se refuerza con los jabalcones *nn*. Las uniones de estas diversas piezas se consolidan con escuadras, pernos ó cinchos de hierro, cuyo objeto y disposicion da desde luego á conocer el exámen de la figura.

En ciertas circunstancias no enrasa el tirante de las cerchas con la cornisa de los muros, segun se ha supuesto en el caso anterior, bien sea por la disposicion del edificio, bien por el deseo de aprovechar para vivienda la parte inferior de la cubierta, y en tal caso se baja la posicion del tirante, como se representa en la fig. 458. Cada cercha se compone de dos partes, una inferior de forma trapezoidal y otra encima *efg*, triangular, constituyendo reunidas una cercha como las empleadas en las cubiertas de Mansard, por más que en el exterior aparezcan contínuas las vertientes.

El tirante inferior está embebido en el grueso del suelo y el superior sirve para establecer el techo de la vivienda comprendida en el espacio *abcd*. La cercha se refuerza enlazando el montante inclinado *ab* con la carrera *s*, que corona los muros por medio de manguetas *k*, que pueden ser sencillas ó cepos, y presentan un rebajo por un extremo, uniéndose por el otro ya con un pasador ya con un estribo, como se ve aparte en la fig. 459.

Por último y como ejemplo notable de cerchas rectas con tirantes, examinaremos las empleadas en la cubierta de la sala de ejercicios de Moscou, construida por Betancourt (a), que presenta una inclinacion de 3 de base por 1 de altura.

(a) D. Agustin de Betancourt y Molina nació en la isla de Tenerife en 1760 y murió en Paris en 1826. Fundó la escuela de Ingenieros de caminos de España, de la que fué director é inspector del cuerpo. Habiendo pasado al servicio de Rusia, construyó en 1818 la sala de ejercicios de Moscou.

La luz entre los muros que sirven de apoyo á las cerchas es de 45,^{m}72, y de 5 el intervalo que éstas dejan entre sí. Cada una consta de un tirante, insistiendo por sus extremos sobre tres soleras *aa* (fig. 460, lám. 20) que coronan á los muros y está compuesto de varias piezas acopladas á rediente y empalmadas á rayo de Júpiter con cuñas y refuerzos de pletinas y pasadores, como se ve en detalle en la fig. 461 (lám. 19) haciéndose aún más solidario el sistema con pasadores distribuidos en toda la longitud. A este gran tirante se dió al colocarle un peralte de 0,^{m}28 en su punto medio y al cabo de cinco meses tuvo un asiento final de 0,^{m}21. Sobre el tirante vienen á unirse los pares y contrapares con fuertes estribos de hierro, como aparece en la figura y enlazándose entre sí los últimos á junta plana con rebajos y dobles cuñas, segun indica en detalle la fig. 462, y consolidándose por medio de pasadores. A los extremos de estos contrapares vienen á unirse tres órdenes de puentes que dividen la altura total de la cercha en partes iguales, consolidándose el conjunto con los jabalcones *jj*. La union de estas piezas no tiene lugar directamente sino por medio de cajas de fundicion *A* (figs. 462 á 464), á las cuales se unen el pendolon y las péndolas, que están formados por piezas dobles *MM*, encepando á la cola *B* de las cajas y se sujetan además con un fleje curvo y bifurcado *C* y pasadores: estas mismas piezas sostienen por su extremo inferior al tirante por medio de estribos de hierro representados en detalle en la fig. 461.

287. **Cerchas rectas sin tirante.**—Siempre que las circunstancias especiales de la construccion exijan que el espacio inferior de la cubierta quede libre y no sea posible la colocacion del tirante en las cerchas, se reemplaza éste por otras piezas que, de una manera más ó ménos eficaz y directa, destruyan el empuje que sin ellas ocasionarian los pares sobre los muros que los sostienen. En general se trata siempre en estos casos de formar un sistema triangular con piezas que enlacen entre sí á los pares, de tal suerte, que no tenga el conjunto más causa para deformarse que la elasticidad de la madera y el juego de los ensamblajes, que puede reducirse mucho con una esmerada mano de obra.

Hay ejemplos numerosos de esta clase de cerchas; pero como en el dia no tienen tanta aplicacion como hace algun tiempo, bastará examinar algun caso característico.

La fig. 465 representa una cercha de este género, en la que los pares se ligan entre sí por medio de las piezas *ab*, *a'b'*. Si se quiere reforzar el sistema se podrian colocar el pendolon y las manguetas cepos *cd* que aparecen de trazos, clavándolas convenientemente á los pares y á las piezas antedichas.

Pueden multiplicarse las piezas que entran en estas cerchas y colocar puentes á la altura necesaria, dando lugar á formas nuevas, aunque todas subordinadas al principio general mas arriba expuesto. La fig. 466 (lám. 20) es otro caso que puede dar idea de las numerosas disposiciones que con el objeto indicado es posible adoptar.

288. Correas.—Las cerchas hasta ahora examinadas se colocan en planos verticales y paralelos que, por lo regular, distan entre sí de 2 á 4 métros y se sitúan en direccion perpendicular á los muros de fachada principal de los edificios; pero se comprende desde luego que dada su forma no tienen la estabilidad necesaria para que permanezcan en la posicion que deben ocupar; y con el fin de conseguir este objeto se fijan sobre los pares otras piezas horizontales, llamadas *correas*, que van de una cercha á otra y mantienen su paralelismo. Las correas sirven además de apoyo á las piezas superiores que sostienen el tejado, y se sitúan dejando entre sí intervalos de 2 á 2,50 métros.

Las correas de las cerchas que hemos examinado están señaladas en las respectivas figuras por la letra *r* y su ensamblaje con los pares es siempre muy sencillo. En la fig. 467 (lám. 19) *A* es la seccion trasversal de una correa, *B* la proyeccion del par que la sostiene y *C* un taco de madera, llamado *egion*, que se clava al par é impide que aquella pueda resbalar á lo largo de los pares. Aunque esta union sea bastante sólida, en razon á que las correas se fijan además á otras piezas de que nos ocuparemos mas adelante, hay sin embargo constructores que la refuerzan con un embarbillado que aparece de puntos en la figura.

Esta es la manera mas usada de sostener las correas; pero muchas veces se prolongan los puentes, las manguetas ú otras piezas de la cercha, como aparece en la fig. 465, y entonces hacen las veces de egiones y se suprimen éstos. En otros casos se practican en la cara inferior de las correas rebajos ó muescas que abrazan los pares, poniéndose en los costados de estos

uno ó dos egiones, pero esta disposicion, que debilita las correas, no es recomendable sino en el caso de que éstas se formen con fuertes tablones puestos de canto sobre los pares.

La correa más alta, que recibe el nombre de *hilera* ó *cumbrera*, se coloca sobre los pares cuando el cuchillo es de tijera (figs. 455, 465 y 466) y se hace que sus caras superiores se encuentren respectivamente en los planos de las demás correas; pero cuando la cercha es de pendolon termina éste unas veces en una espiga que entra en las cajas que lleva la cumbrera (figs. 457 y 458) y otras tiene cajas laterales en las que entran los estremos de la cumbrera, como se ve en muchos casos: las caras superiores de la cumbrera se chaflanan para que estén, como se ha dicho, en el plano de las demás correas. En Inglaterrra, donde se hace con frecuencia uso de tablones, así en la construccion de las cubiertas como en la de los suelos, se emplea uno de estos para cumbrera, que entra en un rebajo hecho en la cabeza de cada pendolon (fig. 468, lám. 20), y esta pieza presenta de este modo con un volúmen pequeño una gran resistencia á la flexion vertical, lo mismo que á la lateral, por estar reforzada á derecha é izquierda por los cabios *cc*, de que hablaremos más adelante. Además posee la ventaja esta disposicion de poderse formar sólidamente los caballetes de plomo, como se verá al tratar de los tejados.

Cuando la longitud de la pieza que ha de formar la correa sea menor que la que debe tener, se empalman dos ó más, sea á junta plana ó á rayo de Júpiter, reforzadas las uniones, si han de sufrir grandes cargas, por medio de pletinas y teniendo siempre cuidado de que los empalmes caigan sobre los pares. Los extremos de las correas se fijan bien entre sí y sobre las piezas inferiores de la armadura, si la cubierta es de cuatro vertientes, ó si solo tiene dos se empotran en los piñones, como las viguetas de los suelos.

289. **Cerchas quebradas.**—En el dia puede decirse que solo se emplean en las cubiertas llamadas de Mansard, como ya se ha dicho más arriba, y aunque la forma general es siempre la misma, varian sin embargo las dimensiones relativas segun el trazado que se adopte. Unas veces se divide en cuatro partes iguales el semicírculo descrito sobre la luz AB (fig. 469) y las cuatro cuerdas de estos arcos parciales darán la direccion de

los pares: otras se prefiere dividir el semicírculo AZB en cinco partes iguales y tomar las cuerdas inferiores AD y BE para la parte inferior de la cercha, inscribiendo el resto en el arco DZE. A fin de aumentar la altura habitable de la cubierta, que de lo contrario resultaría más baja que en el caso anterior, se coloca el tirante, que forma parte del suelo, más bajo que el diámetro AB. Por último, como en algunos casos podrá presentar inconvenientes inscribir la cercha en un semicírculo, se suele fijar de una manera arbitraria la altura BH (fig. 470) de la parte inferior de la cubierta; se forma el rectángulo $ABHG$ y quitando de la base superior la porcion $HE = {}^1/_3$ HB se trazará la recta BE que tendrá una pendiente de 3 por 1: despues en la vertical CZ se tomará una longitud igual á la mitad de CE, y ZE será la direccion de la parte superior, cuya pendiente será de ${}^1/_2$.

290. **Cerchas curvas con tirante.**—Aunque tienen muy poca aplicacion estas cerchas, se concibe que es fácil componerlas adoptando las disposiciones generales que se han visto en los casos anteriores, y cuidando de que presenten los pares la curvatura que se desea, bien eligiendo piezas naturalmente curvas, bien haciendo que afecten esta forma por un procedimiento industrial, ó bien, por último, labrando varias piezas rectas con arreglo á una plantilla conveniente y empalmándolas entre sí á rayo de Júpiter, con los refuerzos que se crean necesarios.

Algunas veces pueden servir estas cerchas curvas como refuerzo de las rectas, segun se vé en la fig. 471 que representa un arco que llena este objeto y que está compuesto de piezas ensambladas en cremallera y sujetas con pernos.

De todos modos y dadas la mucha mano de obra y el desperdicio de material que se ocasiona, lo que se traduce por un aumento de gasto, no es de extrañar el poco empleo que tienen esta clase de cerchas.

291. **Cerchas curvas sin tirante.**—El carácter distintivo de estas cerchas consiste en tener sus pares formados con piezas curvas, dispuestas de tal modo, que sin necesidad de tirante se anulen ó por lo ménos se reduzcan notablemente los empujes inclinados sobre los muros que los sostienen.

Dos son los sistemas adoptados con este objeto y que han

servido de tipo á numerosas variantes, que no es necesario detallar aquí y que puede decirse que no tienen en el dia aplicacion. Los dos sistemas son: el de Filiberto de Lorme y el de Emy.

292. **Sistema de Filiberto de Lorme** (a).—Está fundado en el empleo exclusivo de piezas de madera de pequeña escuadría para la construccion de las cerchas, cualquiera que sea su luz. Una de éstas se forma con un doble espesor de tablas, cada una de las que tiene próximamente 1,^{m}50 de largo, 0,^{m}22 de ancho y 0,^{m}03 de grueso, las que se empalman formando arco, como se ve en la fig. 472, á cuyo fin se las labra con arreglo á la plantilla que sea necesaria. Las caras de union de los empalmes se dirigen normalmente al arco, y las uniones de las tablas de un lado corresponden exactamente al medio de las del otro, ligando entre sí las de ambos lados por medio de clavazon y sujetándolas además con riostras. En mayor escala y en dos proyecciones se señala en las figs. 473 y 474 con la letra *m* la disposicion de estas riostras, las cuales tienen por objeto principal mantener la separacion entre las cerchas, que es de 0,^{m}66, y se forman con piezas de 0,^{m}11 por 0,^{m}03 de escuadría, que atraviesan al ménos dos cerchas contiguas por las juntas de empalme. A su vez ellas se ven atravesadas en cada extremo por dos cabillas *n* de 0,^{m}03 de escuadría que entran en las cajas *oo*, distantes entre sí algo ménos que el grueso de las tablas que forman cada cercha, y de este modo las aprietan una contra otra. Las cerchas se fijan á las soleras de los muros á caja y espiga, como se ve en la fig. 475.

En este sistema las cerchas, aunque ligeras, distaban poco entre sí (0,^{m}66) y estando bien arriostradas proporcionaban una armadura de suficiente resistencia para sostener la cubierta de la construccion. De todos modos, y aunque en el dia puede decirse que no tiene aplicacion en las construcciones de alguna importancia, es una disposicion ingeniosa que honra á su inventor, y que puede utilizarse en circunstancias especiales.

293. **Sistema de Emy.**—Basado en el mismo principio de

(a) Filiberto de Lorme, arquitecto francés del siglo XVI, que se distinguió por la construccion de varios edificios notables y por la invencion de la armadura de que se trata en el texto.

emplear únicamente tablazon en las cerchas de las armaduras y con objeto de evitar el gasto y pérdida de material inherente á la labra aplantillada de los tablones puestos de canto en el sistema anterior, el coronel de Ingenieros M. Emy ha formado los arcos con largos tablones flexibles puestos de plano que se encorvaban segun la forma de la cercha, sujetándose entre sí en esta disposicion por medio de herrajes.

La fig. 476, que representa una de las cerchas de la cubierta de Marac, cerca de Bayona, construida en 1825 por el inventor, está formada, como las demás, con varias capas de tablones de pino de 12 á 13 metros de longitud, 0,m13 de ancho y 0,m055 de grueso, haciendo solidario el sistema por medio de pasadores de unos 0,m018 de diámetro y de la longitud necesaria con arreglo al espesor del arco. Estos pasadores distan unos de otros 0,m80 próximamente y en los intervalos se colocan estribos de hierro que como aquellos se sujetan en el trasdós con tuercas. Como los tablones no tienen por lo regular largo suficiente para abrazar todo el arco, se los empalma á junta plana en los puntos que sea necesario, pero cuidando que estas juntas disten bastante de una capa á la contigua y distribuyéndolas de modo que no haya ninguna en las capas de intradós hácia el centro del arco ni en las de trasdós hácia los riñones, que son los puntos en que el arco tiende á abrirse á causa de las cargas superiores.

De ordinario estas cubiertas presentan al exterior superficies planas, y para alcanzar este objeto se une á cada arco una cercha de piezas rectas compuesta generalmente de dos pares *A*, dos fuertes montantes *B*, dos jabalcones *C* y un puente *D* con un pendolon *E*. Un sistema de cepos *F* que unas veces son normales al arco y otras verticales y horizontales (fig. 477) ligan perfectamente ambas partes: estos cepos presentan rebajos que abrazan al arco y á las piezas rectas, sujetándose por medio de pasadores, segun se ve más en detalle en la fig. 478.

La cercha del mismo sistema construida en Metz que aparece en la fig. 477, solo difiere de la anterior en que los cepos son verticales y horizontales. Esta disposicion puede adoptarse cuando el arco presenta gran rigidez; pero en el caso contrario deben ponerse en direccion normal á él.

Los arcos de este sistema, construidos como se acaba de de-

cir, poseen la rigidez necesaria sin producir empujes horizontales sensibles en los arranques; porque para que el arco se pudiera deformar tendiendo á rectificarse, seria necesario que resbalasen unas tablas sobre otras, alargándose las que están en la parte cóncava y acortándose las de la convexa, lo cual es imposible mientras existan los pasadores y estribos que las ligan. Como las cerchas de este sistema distan entre sí de 2 á 4 metros, de igual modo que en los casos ordinarios, hay en definitiva economía en la cantidad de madera empleada en una armadura si se compara con la que se necesitaria adoptando el sistema de Lorme, lo que unido á la menor mano de obra produce bastante reduccion en el coste total. Los arcos se construyen sobre una montea horizontal, en la que se adoptan disposiciones variables para ir dando á las tablas la curvatura necesaria y colocar los pasadores y estribos que han de sujetarlas, trasportándolos despues de formados al sitio en que se hayan de colocar.

294. **Cerchas de fábrica.**—En muchas armaduras de madera se evita el empleo de cerchas de este material subiendo en piñon los muros divisorios del edificio hasta llenar el espacio que habrian de ocupar aquellas y sentando encima la cumbrera y correas como en las armaduras ordinarias. Si la distancia entre estos muros no pasa de 8 á 9 metros hay casi siempre economía en suprimir las cerchas intermedias y emplear para correas fuertes piezas de $0,^{m}25$ á $0,^{m}30$ de escuadría. A veces se aligera la parte apiñonada de estos muros, bien estableciendo puertas para que se comuniquen unas divisiones con otras, ó bien practicando aberturas ojivales, como se ve en la figura 479, y en ambos casos se puede considerar como una cercha de fábrica.

En muchos edificios, como aduanas, almacenes, etc., se construyen arcos de ladrillo y hasta de piedra separados de 4 á 6 metros, que sustituyen á las cerchas y sobre los cuales vienen á colocarse las correas y demás piezas de la armadura. Con este sistema se tiene en muchos casos y en corto tiempo una cubierta duradera y económica.

Otras varias disposiciones de cerchas se han adoptado, pero como en el dia tienen escasa aplicacion y empleo poco justificado, no creemos necesario entrar aquí en su exámen.

295. **Consolidacion de las armaduras.**—Ya se ha dicho más arriba que las correas tienen por objeto fijar la posicion de las cerchas de madera y mantener su paralelismo; pero esto no basta cuando las dimensiones de la armadura son algo considerables y ha de estar sometida á la accion de fuertes vientos, lo que deformaria las uniones fatigando los ensamblajes y apresurando la destruccion de las piezas. Es preciso, en tal caso, reforzar el sistema, sobre todo si la luz de la cercha pasa de 8 á 10 metros, y á este fin se emplean piezas diversas, colocadas en la posicion más conveniente para conseguir que el conjunto resulte, en cuanto es posible, indeformable.

En general se trata de ligar de una manera invariable las cerchas entre sí por medio de piezas formando riostras ó cepos, que se sujetan á otras del interior de cada cercha.

Un ejemplo de cepos normales á las cerchas se observa en la armadura de Moscou (fig. 460), donde aparecen segun su escuadría y se han señalado con la letra *x*. Otro medio, tambien muy usado, consiste en colocar jabalcones que por su extremo inferior se ensamblen á caja y espiga con barbilla en los pendolones y por el opuesto del mismo modo á la cumbrera, como se ve en *aa* (fig. 480), indicándose además por *xx* (figuras 457 y 458) las cajas y rebajos que con este objeto se han practicado en los respectivos pendolones; pero si no fuera conveniente debilitar la cumbrera con el ensamblaje, se coloca debajo otra pieza, llamada *sotahilera*, á la que se ensamblan á inglete los jabalcones. Por último, á veces se colocan estas piezas ligando á los pares con las correas, segun se representa en *bb* de la fig. 480. En algunos casos se reemplazan estos refuerzos por cruces de San Andrés, como la señalada de trazos en la figura.

296. **Piezas auxiliares.**—Sobre las correas, y cruzándolas á ángulo recto, esto es, siguiendo la máxima pendiente de la cubierta y á intervalos de 0,^{m}40 á 0,^{m}50 se colocan otras piezas *zz* (figs. 455, 457 y 458) llamadas *cábios*, que se fijan con clavazon, y á veces con cabillas de madera, á las correas y cumbrera, ensablándose sobre ésta los de las dos vertientes contiguas, ya á junta plana, como en *m* (fig. 481) ya solapándose y asegurándolas con clavazon, como en *n*, ya por último, aunque rara vez, por medio de horquillas, como en *p*. Por aba-

jo se los sujeta á la solera *s* puesta en la coronacion del muro, y con objeto de que el agua vierta mejor en la canal que de ordinario corona á éste en la fachada, se colocan otras piezas *q*, llamadas *ristreles*, que se clavan por un extremo á los cabios y por el otro á la solera exterior *s'*.

Las soleras, lo mismo que las correas, se componen por lo regular de piezas empalmadas á junta plana, á media madera, ó de otro modo si fuere necesario; pero se cuida de que en las últimas, aunque en posicion alternada, caigan estas uniones sobre los pares. Tambien son á veces los cabios de tal longitud que hay que formarlos con piezas empalmadas, como se acaba de decir.

Cuando la armadura ha de sostener una cubierta de palastro ó zinc, así como cuando se usan tejas planas, se suprimen ordinariamente los cabios, haciendo que las correas, aunque más ligeras, estén entre sí mucho más próximas, para que en el primer caso no se produzcan en la plancha metálica ondulaciones perjudiciales á la fácil salida de las aguas, y en el segundo sirvan de apoyo á las tejas.

297. **Faldones.**—Hasta ahora hemos supuesto que la armadura cubre un espacio rectangular y que la cubierta á que corresponde solo tiene dos vertientes, terminando los muros laterales á la fachada, llamados *testeros*, en piñones ó frontones; pero cuando se quiere suprimir éstos hay que reemplazarlos por un plano inclinado de forma triangular, constituyendo otra nueva vertiente ó faldon. En la fig. 482 (lám. 21) que representa la proyeccion horizontal de la cubierta de un edificio con varios cuerpos, podemos considerar el trapecio *abcd* como independiente de lo demás, y en tal caso los testeros *ab* y *cd* estarán terminados por los faldones *abg* y *cde*. El faldon puede ser recto ú oblícuo segun lo sean los testeros respecto á las fachadas; pero esta circunstancia no altera la composicion de la armadura en cada caso.

Si suponemos que *ab* y *cd* (figs. 483 y 484, lám. 20) son las soleras que coronan los muros de fachada de un edificio y *ac* la del testero sobre el que se quiere construir el faldon de la cubierta, empezaremos por determinar la línea interseccion de éste con las vertientes principales, suponiendo que el primero tenga la misma inclinacion que las segundas, y obteniéndose

así las líneas *ap* y *cp*, que en el caso del faldon recto serán las bisectrices de los angulos en *a* y *c*. Hecho ésto, se establecerá segun *qpr*, perpendicular á las fachadas, la última cercha de las vertientes principales, indicando la recta *ps* el eje de su cumbrera correspondiente; y admitimos que esta cercha, llamada *principal*, se componga de los pares, el tirante y el pendolon. En tal caso se sitúa segun la línea *pt*, prolongacion de la cumbrera, una media cercha que tiene el mismo pendolon que la principal, un solo par y el tirante correspondiente; llamándose al conjunto de estas piezas *cercha de faldon*: el tirante de esta cercha se ensambla con el de la principal y ambos están sujetos por el pendolon comun. Por último, segun las líneas *ap* y *cp* se forman otras semicerchas, denominadas de *limatesa*, sirviéndoles de pendolon el mismo de las anteriores, al que vienen á ensamblarse superiormente los pares respectivos; pero como no sería conveniente ensamblar todos los tirantes en el mismo punto, se suspenden los de limatesa, llamados *aguilones*, al llegar á las piezas *mm*, que reciben el nombre de *codales*, ensamblándose éstos en los dos tirantes contiguos correspondientes á las cerchas principal y de faldon y llenando un objeto análogo al de los brochales en los suelos. Al conjunto de los tirantes principal, de faldon, codales y aguilones, que están en un plano horizontal, se da el nombre de *enrayado*.

Una vez formadas las cerchas, se colocan las correas segun planos horizontales, como se ha dicho más atrás, y encima los cábios, que se apoyarán inferiormente sobre las soleras, como de ordinario y por su cabeza superior se fijarán á las correas ó á los pares de limatesa, interponiendo en este último caso los tacos que sean necesarios. Cuando la longitud de los cábios es variable, y esto tiene lugar en los faldones y parte contigua de las vertientes, reciben el nombre de *cuartones*, aunque muchos los denominan *péndolas*.

Los pares de estas diversas cerchas se unen con sus correspondientes tirantes á caja y espiga con barbilla y con el pendolon de la misma manera, excepto los de limatesa que solo lo hacen á barbilla, pero en forma angular *abc*, segun se ve en mayor escala y proyeccion horizontal en la fig. 485, á fin de no debilitar mucho el pendolon. Los codales se unen á los tirantes contiguos á caja y espiga, como se ve en *e* en la misma figura ó

mejor á cola de milano, de la misma manera que se ligan á los primeros los aguilones *d*. Con objeto de que pueda verificarse la ensambladura de los diversos pares con el pendolon, se chaflanan los primeros segun las líneas *am cn*, concurrentes al eje del último.

En el caso de ser oblícuo el faldon, se determina ordinariamente de la misma manera que en el recto la posicion de las cerchas principal, de faldon y de limatesa, tal como aparecen en proyeccion horizontal en la fig. 484.

298. **Nudos.**—Siempre que se encuentran ó cruzan dos cuerpos de edificio cuyas cubiertas tienen la misma altura forman un nudo *rst*, *mnopq* (fig. 482), que se compone en el segundo caso de ocho planos inclinados terminando en el punto *o* encuentro de las dos cumbreras correspondientes á las armaduras de cada cuerpo. Las aristas de los ángulos diedros entrantes que son las líneas *om*, *on*, *op*, y *oq* se llaman *limahoyas*, y segun sea el ángulo que formen las dos cumbreras, así el nudo será recto ú oblícuo; pero la disposicion de las cerchas es análoga en uno y otro caso.

Si *A*, *B*, *C*, *D* (fig. 486, lám. 21) son las proyecciones horizontales de los vértices entrantes del cruzamiento, se compondrá la armadura que le cubre de cuatro cerchas *aa*, *bb*, *cc* y *dd*, correspondientes á los cuerpos que se cruzan, situadas cerca de los vértices referidos, y dos grandes y fuertes cerchas *AD* y *BC* que siguen la direccion de las diagonales del rectángulo *ABCD*, y tienen comun el pendolon proyectado en *p*. Los tirantes de estas cerchas, llamados tambien aguilones, se cruzan á media madera ó mejor sin hacerlos ningun rebajo y se sujetan al pendolon como de ordinario, del mismo modo que los pares; y las cumbreras *rr*, *tt*, de los cuerpos se continúan hasta llegar al pendolon central *p*, con el que se ensamblan á caja y espiga.

La colocacion de las correas y cábios, una vez establecidas las cerchas, se subordina á las reglas establecidas en el número anterior; pues la única diferencia consiste en que los cuartones se fijan ahora por su cabeza superior á la cumbrera y por la inferior á las correas ó á las cerchas de limahoya.

299. **Nudillos.**—Al encontrarse dos cubiertas cuyas cumbreras tengan distinta altura *ge* y *xz* (fig. 482) se forma un nudo especial llamado *nudillo*. La union de las dos vertientes se

suele disponer de tal modo, que la cercha de nudillo, sobre la cual resultan las dos limahoyas, forme parte de ambas armaduras.

Las figs. 487 á 489 representan respectivamente la proyeccion horizontal y dos verticales del nudillo. La cercha de limahoya, inclinada en el plano que forman los pares de la armadura más alta, se compone de dos pares *aa*, *bb*, y dos aguilones *cc*, yendo á ensamblarse superiormente los primeros á caja y espiga con el par principal *p*, que pertenece á la cubierta más alta, y por el extremo inferior á los aguilones respectivos, al paso que éstos se ensamblan con el tirante correspondiente á la cercha principal. Tanto este tirante como su respectivo par son incompletos y solo llegan el primero hasta el codad *dd*, *d'*, que se ensambla á su vez con los aguilones, y el segundo hasta el puente *ff*, *f'*, que se une á los dos pares de limahoya *aa*, *bb* (a). Por encima de estos pares se ve en el par principal la caja *mm*, á la que se ensambla el extremo de la cumbrera del nudillo.

300. **Observacion.**—Las ensambladuras de las diversas piezas que componen las armaduras se verifican con arreglo á los principios establecidos en el corte de maderas, y ya las hemos determinado al tratar de la union de las más principales.

Los pares pertenecientes á las limatesas y limahoyas presentan, en su parte exterior al ménos, dos caras planas, correspondiendo cada una á la vertiente contigua, debiéndose tener en cuenta esta circunstancia al determinar las magnitudes de las cajas, espigas y rebajos en la ocupacion. Igualmente se limita la cara superior de las cumbreras por dos chaflanes que se encuentren en los planos correspondientes á las caras de las correas en que se apoyan los cábios respectivos, como ya hemos dicho más atrás.

301. **Aberturas en las cubiertas.**—En las cubiertas hay ordinariamente necesidad de practicar diversas aberturas, unas veces para dar paso á los cañones de las chimeneas, otras para establecer lumbreras ó claraboyas y otras para formar buhardas ó buhardillas, siendo en todos los casos necesario dejar en la armadura los claros correspondientes. Generalmente y con

(a) Pudiera hacerse completa la cercha *p*, lo que aumentaria la rigidez del sistema, aunque empleando alguna madera más.

objeto de no perjudicar los pares, se sitúan estas aberturas entre dos cerchas, y se limitan por un bastidor rectangular, dos de cuyos lados se forman con dos cábios, á los que se da mayor escuadría que á los demás á causa de los ensamblajes que tienen que recibir y de la mayor fatiga que han de experimentar, y los otros lados se componen de dos brochales ensamblados á los cábios antedichos y que á su vez sirven de apoyo á los demás cábios que haya que interrumpir por la abertura.

Cuando ésta es pequeña, como en el primero de los casos referidos, basta en general interrumpir un cábio y formar el bastidor, segun se representa en la fig. 490, comprendido siempre entre dos correas. Pero cuando la abertura corresponde á una buhardilla, como la representada en las figuras 491 y 492 ó en las 493 á 495, se tienen que cortar una ó más correas *cc*, *c'* sobre cuyos extremos se construye el bastidor que ha de sostener la parte restante, bastidor que se compone de las dos correas superior é inferior á la abertura y de dos fuertes brochales ensamblados á escuadra con éstas. Sobre la correa inferior y los brochales se levantan los entramados verticales, segun se ve de frente y perfil en las cuatro primeras figuras citadas, y se cubre el espacio con una pequeña armadura que forma nudillo con la principal, adosándose sobre ésta la última cercha de aquella. La cubierta de la abertura suele terminar por la parte anterior con un faldon (figs. 491 y 492) ó con una armadura cónica (figs. 493 á 495) cuando la buhardilla tiene la forma representada en el dibujo. Lo más frecuente es que la abertura se sitúe bastante baja para que sustituya á la correa inferior de que hemos hablado la solera sobre que insisten los cábios, tal como aparece en las figuras anteriores.

302. **Armaduras cónicas y esféricas.**—Hasta aquí hemos examinado la disposicion de las armaduras que forman cubiertas planas ó cilíndricas; pero aunque de aplicacion mucho ménos frecuente, conviene decir algo respecto á otras de distinta clase. Las cónicas y esféricas están compuestas en su parte esencial de varias cerchas verticales que tienden á concurrir al punto más alto de la cubierta; pero como seria muchas veces un inconveniente que estas cerchas tuvieran tirante, bien porque se habrian de cruzar todos en un punto, bien porque fuera necesario que el interior de la armadura quedase libre, se reem-

plaza entonces su efecto por el de una fuerte solera á la cual vienen á ensamblarse sólidamente los pares. Por la parte superior se suelen interrumpir las cerchas ensamblándolas, antes de llegar al punto más alto, á un bastidor ó corona.

En la armadura cónica cuyo enrayado se proyecta horizontalmente en la fig. 496, los dos tirantes *aa*, *bb*, se cruzan á media madera y se ensamblan á ellos los cuatro codales *cc*, á los que se fijan los demás tirantes. Si se quiere suprimir los tirantes (fig. 497), se establece en la coronacion del muro una fuerte solera en forma de corona *dd*, á la que se ensamblan los pares que superiormente se unen más ó ménos directamente á un pendolon *p* ó á otra corona más pequeña *ff* con su enrayado. De todos modos, se colocan á cierta altura las riostras curvas *rr*, unidas á caja y espiga con los pares, las cuales se oponen á que éstos experimenten flexion alguna.

Se da el nombre de *cúpula* ó *media naranja* á la armadura cuya base es un círculo ó polígono regular de muchos lados, y que tiene por seccion vertical una curva, generalmente de forma circular, cóncava hácia el interior.

La superficie interior y exterior de una cúpula son en general distintas, y en el espacio que comprenden se suele establecer una escalera para subir á la linterna. En unos casos se forma la armadura con puentes colocados á cierta altura; pero ordinariamente el intradós ó superficie interior de la obra es tan alto que no se los puede establecer. En este concepto, se las divide á veces en cúpulas con puentes ó sin ellos.

Cuando estas armaduras son de pequeñas dimensiones (figuras 498 y 499), no se suelen formar los pares de una sola pieza para no tener que cortar sus fibras, y entonces se limitan á cierta altura por una corona resistente *aa*, que se refuerza como la de arranque con herrajes, y sobre la cual se establece otra zona *ab*, *ab*, del mismo modo que la primera, continuando así hasta la parte superior.

En la fig. 500 aparece la cercha de una cúpula de grandes dimensiones, en la que *aa* es un puente ó falso tirante; *bb* postes que pueden prolongarse para formar la linterna; *cc* una doble corona con las juntas alternadas y ligada una parte con otra, y *dd* pares curvos. Se pueden colocar dos cerchas principales paralelas entre sí y separadas una distancia igual al diá-

metro de la linterna, como *mm*, *nn* (fig. 501), cruzadas por otras dos *pp*, *qq*, y además el suficiente número de semicerchas para reducir los claros que comprenden; ó bien se ponen las dos cerchas principales cruzándose á ángulo recto en el centro de la cúpula, como se representa en la fig. 502 y se ha empleado en los Inválidos de París.

En las cúpulas cuyas cerchas no tienen puentes hay que apoyarlas perfectamente sobre una fuerte carrera circular que las sirve de base, como se ha dicho más arriba.

Cuando la linterna de la cúpula sea muy pesada para que resista bien una cercha como las descritas, se adopta la disposicion representada en la fig. 503, que consta de pares dobles perfectamente ligados entre sí y sujetos á la carrera circular sobre que insiste la construccion.

303. **Armaduras de hierro.**—El empleo del hierro en la construccion de las armaduras ha seguido los mismos pasos que vimos al tratar de los suelos; esto es, empezó por servir tan solo de refuerzo en las uniones de las piezas de madera; despues se empleó exclusivamente el hierro fundido, y por último se ha preferido el forjado y laminado que, á más de las ventajas que bajo el punto de vista de la resistencia posee, tiene la propiedad de prestarse á tomar la forma conveniente en cada caso y de poderse conducir en pequeños trozos al pié de la obra, donde se monta con facilidad la construccion que se trata de realizar.

304. **Clasificacion.**—Lo mismo que en las armaduras de madera pueden adoptarse en las de hierro cerchas de diversas formas, que tambien se podrian clasificar, como entonces lo hicimos, en rectas y curvas, con tirante ó sin él; pero antes de entrar en el exámen de estos diversos tipos, conviene advertir que de la misma manera que se vió en los suelos de hierro, se hace actualmente uso en las armaduras, unas veces de flejes; otras de barras laminadas, cuya seccion trasversal tiene la forma de escuadra, de simple ó de doble T y de canal, con dimensiones muy variables; y finalmente, otras de palastros unidos entre sí con roblones y reforzados cuando es necesario por los medios que entonces se indicaron.

Las cerchas que poseen tirante solo producen en sus apoyos presiones verticales, al paso que las que no le tienen ocasionan empujes inclinados que obligan á dotar á los muros ó apoyos

sobre que insisten de mayor resistencia que en el caso anterior. Sin embargo, aunque las cerchas carezcan de tirante, se disponen siempre las piezas que entran á formarlas de modo que anulen ó por lo ménos reduzcan mucho tal empuje.

A causa del gran número de formas y disposiciones adoptadas en la composicion de las cerchas y de las partes comunes que hay en varias de ellas, no es posible entrar aquí en el exámen de todas; pero en las figuras 504 á 511 y 512 á 514 (lámina 22) se presentan los tipos principales indicando respectivamente las líneas gruesas y finas las partes de cada una sometidas á la compresion y á la tension. Las disposiciones más usadas para cerchas rectas con tirante son las de las figs. 504 y 505, pudiéndose considerar la primera como la forma elemental y reforzándose los pares de la segunda con péndolas y jabalcones. Este género de cerchas se usa mucho en las armaduras con faldones, en las que se necesita un pendolon y pueden emplearse hasta luces de 18 y 20 metros.

Cuando se reemplaza el tirante por un falso tirante se adoptan las disposiciones de las figuras 506 á 510. La primera es la más sencilla y se aplica lo mismo á luces pequeñas que grandes, pudiéndose hacer de hierro fundido las bielas *a* cuando tengan poca longitud; pero si la luz pasa de 12 á 14 metros es preciso reforzar los pares como se ve en las figuras 507 á 509. La 510 se usa algunas veces cuando hay que interrumpir superiormente la cubierta para proporcionar la necesaria ventilacion.

Cuando el tirante no se reemplaza con otra pieza se adopta la forma de la fig. 511, y si le sustituye una pieza curva se emplea la de la 512, debiéndose advertir que las zonas *abc* y *a'b'c'* no forman realmente parte de la cercha, pero sirven para reforzarla y fijarla á las columnas ó muros que la sostienen.

En las cerchas curvas se construyen siempre los pares de modo que anulen por sí mismos los empujes inclinados, á cuyo fin se los forma con varias piezas que solo permiten la deformacion consiguiente á su elasticidad y al juego de las uniones. Sin embargo, en muchos casos es conveniente reforzar el sistema colocando tirantes, como se ve de trazos en la fig. 513, ó falsos tirantes, generalmente curvos, segun se representan en *abc*; pero en algunas circunstancias y cuando es necesario que

quede libre el espacio comprendido por la cubierta se puede suprimir el refuerzo dejando únicamente los pares como aparecen en la fig. 514.

Dadas estas ideas generales, pasemos á describir más en detalle algunas cerchas pertenecientes á los tipos más arriba admitidos.

305. **Cerchas rectas con tirante.**—Las figuras 515 á 525 (las 517 á 520 inclusives están en la lám. 23) representan en conjunto y detalles una cercha de esta naturaleza de 13,m10 de luz destinada á una armadura para estacion de ferro-carril. Está compuesta (fig. 515) de dos pares *AA*, *BB*, con una inclinacion de 2 por 1 y de seccion en T de 0,m10 de alto por 0,m076 de ancho y 0,m012 de espesor; de un tirante de seccion circular de 0,m032 de diámetro y de un pendolon de la misma forma trasversal y de 0,m025 de diámetro. Además hay cuatro péndolas *PP* que unidas á los jabalcones *JJ* disminuyen la flexion de los pares y aumentan la rigidez del sistema.

Los pares insisten directamente sobre los apoyos, fijándose en el muro *M* por medio de dos placas laterales acodadas *ab*, *a'b'* (fig. 516) á las que se sujetan con cuatro pasadores y ellas se fijan á su vez al muro por otros cuatro. A las tres placas verticales viene á abrazar el tirante, que en su extremo tiene la forma de horquilla, y que, lo mismo que las placas, presenta aberturas rectangulares para que atraviese todas estas piezas la fuerte cuña *cc'*. Por el otro lado descansa la armadura sobre varios apoyos aislados de fundicion *FF* (fig. 515) separados 7m62 uno de otro y unidos superiormente por cuchillos de palastro de seccion en doble T, que las figuras 517 á 520 dan bien á conocer, así como su union ó encaje en los referidos apoyos. Las cerchas, que distan entre sí 2,m54, vienen insistiendo unas directamente sobre los apoyos y otras sobre las vigas ó cuchillos que los enlazan; pero en ambos casos se fijan de una manera análoga á como se ha visto en el muro *M*, representando la fig. 521 las dos proyecciones de una placa lateral correspondiente á una cercha colocada entre dos apoyos, que en el caso actual pertenece á dos cerchas simétricas: la hoja horizontal de la placa se fija á la cabeza superior del cuchillo de palastro y la vertical al par correspondiente.

Los jabalcones son de seccion en T teniendo 0,m063×

0,^{m}063×0,^{m}0095 y las péndolas cortas tienen 0,^{m}016 de diámetro y 0,^{m}022 las largas; pero unas y otras se unen de la misma manera á los pares y tirantes, á cuyo fin terminan superiormente en una horquilla *lmn* (fig. 516) é inferiormente en un ensanche con rosca. La primera abraza, no solo el nervio vertical del par, sino dos placas laterales, que á su vez se fijan al nervio del jabalcon, y la segunda atraviesa, á más del tirante, que en este punto se ensancha lo necesario, á la cabeza inferior del jabalcon. En la parte superior no se bifurca el pendolon, sino que está unido por un pasador á dos placas que se fijan á los pares contiguos *pq*, *p'q'*, y en la inferior se sujeta al tirante de un modo parecido á como lo verifican las péndolas.

Las correas, que son de madera, insisten sobre hierros en ángulo *cc* (fig. 515) que se unen sólidamente á las cabezas de los pares y tienen de seccion 0,^{m}057×0,^{m}057×0,^{m}006, sirviendo las primeras de apoyo á la parte superior de la cubierta, de que nos ocuparemos más adelante.

En la parte más alta de la armadura y con objeto de facilitar la ventilacion se ha formado una *linterna*, la que en rigor es solo una pequeña armadura compuesta de cerchas que solo tienen los pares, los cuales descansan sobre unos bastidores de fundicion que se sujetan inferiormente á los pares principales. Estos bastidores tienen varias pilastrillas *pq* (figs. 522 y 523), en cuyas caras laterales hay ranuras inclinadas que sirven para formar persianas. Un hierro de tres brazos (fig. 524) une superiormente estos pequeños cuchillos y sirve de apoyo á la cumbrera, que aquí está formada por dos piezas de madera.

Por último, las pilastras de hierro fundido *FF* (fig. 515) se fijan á la fundacion con cuatro pernos (fig. 525), sirviendo el hueco de su parte central para tubo de bajada á las aguas que caigan en las dos vertientes contiguas.

Hemos entrado en algunos detalles respecto á la union y consolidacion de las piezas que forman esta armadura, porque el sistema, con ligeras variantes, es el mismo para todas las obras de hierro, y nos evitará en lo sucesivo tener que repetir descripciones análogas, que nada nuevo enseñarian, y que están subordinadas á las reglas establecidas en el corte de hierros.

306. **Cerchas rectas sin tirante.**—Ya se ha dicho, al tra-

tar de estas cerchas en las armaduras de madera, los casos en que su adopcion está justificada y las disposiciones que en general deben preferirse para que cumplan con su objeto. Entre los varios sistemas adoptados con este fin nos limitaremos á presentar el llamado de Polonceau, nombre de su inventor, refiriéndonos á la armadura construida en la estacion de Burdeos, que alcanza una luz de 30 metros.

Las piezas principales de cada cercha consisten en dos pares *aa*, *bb* (fig. 526, lám. 23), sensiblemente rectos, cuya seccion es de doble T, uniéndose en sus puntos medios las bielas *cd* que con los tirantes oblícuos *da*, *da* refuerzan los pares formando vigas armadas, y el falso tirante *dh* que une los piés de las bielas. Las dimensiones de los primeros en seccion recta son $0,^{m}16 \times 0,^{m}08 \times 0,^{m}008$ é inferiormente se apoya cada uno en una pieza de fundicion ó coginete que se fija en la coronacion del muro, segun aparece en mayor escala en las figs. 527 á 529, y además se refuerza por su cara inferior con una ménsula de fundicion. Tanto el coginete como la ménsula se fijan al muro por medio de roscas empotradas y tuercas. Por la parte superior se unen los dos pares entre sí con placas de refuerzo, como se ve en detalle en las figs. 530 y 531.

La biela antedicha es de hierro laminado, á causa de su gran longitud y está compuesta de placas y hierros en ángulo, como representa en seccion la fig. 532. Por la parte superior se une al par haciendo uso de placas y un pasador (figs. 533 y 534) y por la inferior lo hace del mismo modo á los tirantes que en ella concurren (figs. 533 y 535). Además de estas bielas hay otras más pequeñas *ef* (fig. 526) que por ser más cortas y estar ménos expuestas á la flexion se han hecho de hierro fundido, las cuales unidas á los tirantes *fc*, refuerzan aún más los pares.

El falso tirante está á $1,^{m}70$ más alto que el apoyo de los pares y para reducir su flexion se ha colocado un pendolon. El primero, que es de seccion circular y $0,^{m}025$ de diámetro, está interrumpido en su parte central, y por medio de dos manguitos fileteados en doble tuerca *hh* (fig. 526), que cogen sus extremos en rosca y los de las partes salientes del pendolon, que tambien terminan en rosca, se puede producir la tension conveniente para la resistencia de la cercha. El pendolon se une superiormente á los pares como aparece en las figs. 530 y 531

Las correas no insisten encima de los pares sino que están comprendidas en la altura de éstos y las forman piezas en doble T que van de una cercha á otra, á las que se unen como aparece en las dos últimas figuras citadas y en las 533 y 534. A 0,m90 encima de las cerchas y para dar luz y ventilacion á la parte inferior se ha formado una linterna cubierta con vidrios y enteramente abierta por los costados.

307. **Cerchas curvas con tirante.**—Si esta clase de cerchas tienen poca aplicacion en las armaduras de madera, como dijimos en su lugar, con mayor motivo dejarán de emplearse, por regla general, en las de hierro; puesto que en éstas es más fácil adoptar disposiciones convenientes para destruir los empujes inclinados, y exigen de ordinario el espacio inferior completamente libre, ya sea por el servicio que están llamadas á desempeñar, ya por razon de ornato. Pero hay sin embargo algun caso en el que se han adoptado para construcciones de gran importancia, que creemos conveniente describir.

El ejemplo más notable de esta clase de cerchas se encuentra en la armadura de la estacion de Lóndres, llamada de St. Pancras, que es la mayor que existe, y se terminó en 1869.

Esta colosal cubierta, que tiene 210 metros de longitud por 77,m20 de ancho y comprende 10 vias férreas, 5 andenes y una vía para carruajes ordinarios (figs. 536 y 537, lám. 24), está compuesta de cerchas *ab*, *a'b'* cuyos tirantes *cd* se encuentran por bajo de la superficie del suelo y se apoyan en filas de columnas de fundicion. Estas, que están distribuidas en cuadrícula, tienen 4,m60 de altura, 0,m30 de diámetro, distan entre sí 4,m42 y se apoyan en pilares de ladrillo coronados con sillería, formando en conjunto un gran sótano ó depósito de 213 metros de largo y 73 de ancho. Sobre estas columnas insisten cuchillos de palastro de 0,m60 de altura que van de un arranque á otro de las cerchas, sirviendo de tirantes, y otros que los cruzan á escuadra (figs. 538 y 539) unidos entre sí convenientemente y formando la cuadrícula: además entre cada dos de los primeros y paralelos á ellos se colocan otros dos cuchillos que se fijan á los segundos. Los intervalos que resultan se cubren con placas de palastro *ef* llamadas *Mallet's buckled plates* ó *placas convadas*, á las que ya hicimos referencia (267), las cuales se roblonan por sus rebordes planos directamente sobre

las cabezas superiores de los cuchillos y entre sí por medio de una cubrejunta de seccion en T. Las figs. 540 y 541 dan á conocer más en detalle la disposicion de las columnas y de los cuchillos que sostienen.

Las cerchas están colocadas á distancias de $8,^{m}92$ y cada una se compone de dos rebordes *hkl* y *h'l'* (figs. 536, 542 y 543), (a) que dejan entre sí un intervalo constante de $1,^{m}30$, formándose cada uno con dobles hierros en canal de $0,^{m}267\times 0,^{m}089\times 0,^{m}0127$. El reborde interior presenta por su cara de intradós una superficie contínua, para lo cual se han ligado los dobles hierros con placas de palastro de $0,^{m}406$ de ancho por $0,^{m}01$ de grueso, y del mismo modo está cubierta la cara de trasdós del reborde exterior; pero por las caras opuestas solo tienen bridas *mm* de $0,^{m}064\times 0,^{m}01$ situadas de distancia en distancia. Ambos rebordes se enlazan en la parte próxima á los arranques del arco con placas contínuas de palastro de $0,^{m}01$ de grueso (figs. 536 y 537) y en la superior *k'k* con manguetas *nn* y aspas.

Las placas de palastro, que abrazan en el arco una extension de unos nueve metros, se unen entre sí con cubrejuntas planas de $0,^{m}152\times 0,^{m}01$ y por la parte inferior se fijan á una fuerte caja de palastro *pp*, por medio de hierros en ángulo roblonados al arco y á la caja. Esta, que descansa sobre el muro, se une de una manera análoga al tirante *cd* y tiene por el exterior dos piezas triangulares *q*, que refuerzan el arranque del arco, fijándose además inferiormente á placas de amarre, embebidas en la fundacion del muro, por medio de cuatro pernos *qr* de $0,^{m}075$ de diámetro.

Las manguetas *nn* (fig. 542) están formadas por cuatro hierros en ángulo que dejan entre sí algun espacio y se roblonan con placas auxiliares á los rebordes del arco, convenientemente reforzados. A través del referido espacio pasan las piezas de las aspas *ss*, *tt* formadas con hierros en canal de $0,^{m}114\times 0,^{m}038\times 0,^{m}0127$ que se colocan pareadas con intervalos, tal como aparecen en la figura y bien roblonados entre sí y á los rebordes del arco.

Se enlazan unas cerchas á otras por medio de correas *abcd*

(a) La fig. 542 se encuentra en la lám. 25.

(fig. 544) que aparecen por la parte inferior como cruces de San Andrés y se forman con hierros en ángulo de $0,^{m}089 \times 0,^{m}089 \times 0,^{m}01$, resultando un reborde por la parte superior *ab* é inferior *cd* de la correa y formando la central con flejes *acc'* de $0,^{m}089 \times 0,^{m}0121$, los cuales forman en *c* un ángulo, del mismo modo que le presentan en sentido inverso los hierros *cd*, estando bien roblonados unos á otros. Los extremos de las correas se fijan en las manguetas correspondientes de cada dos cerchas contíguas. Sobre estas correas y en el intervalo entre cada dos de las cerchas descritas se encuentran tres cábios ó cerchas secundarias *fg* (figs. 544 y 545) cuyo objeto es únicamente sostener la parte de carga de la cubierta que insiste directamente sobre ellos, los cuales están á $2,^{m}23$ uno de otro y se fijan á las correas como aparece en la última figura citada. La seccion de los cábios es en doble T, de $0,^{m}267 \times 0,^{m}14 \times 0,^{m}0127$. Con el fin de aumentar la rigidez de la armadura y contrarestar la accion de los vientos se han establecido riostras que aparecen en la proyeccion horizontal segun *hi*, convenientemente roblonadas á las cerchas y los cábios.

Insistiendo sobre las cerchas y los cábios, se ha construido la cubierta propiamente dicha, y aunque más adelante examinaremos esta parte, indicaremos ahora que consiste en varios bastidores inclinados formando limatesas y limahoyas que siguen paralelamente á las cerchas, para lo cual se sujetan las limatesas á las correas por medio de barras *lm* (fig. 544) y las limahoyas se apoyan en los cábios. Sobre los bastidores se colocan á distancias iguales listones *np* con rebajos para recibir los vidrios del encristalado. Este ocupa la parte central de la cubierta en un ancho de 43 metros próximamente, como aparece en la fig. 536, y el resto se encuentra cubierto (figs. 546 y 547) con un enlatado sobre el que se apoyan las pizarras, cuyo mútuo recubrimiento es al ménos de $0,^{m}075$, las cuales se fijan con clavos de cobre. Por último, á lo largo de la línea de separacion de los cristales y las pizarras se ha establecido un paso con su barandilla para atender á las reparaciones, limpias y demás trabajos ulteriores que sean necesarios, y tanto en el interior como en el exterior de la armadura se han colocado piezas de fundicion que dan carácter á la obra y contribuyen eficazmente á su ornato.

Por grandes que sean las dimensiones de esta cubierta, se ha tenido sin embargo muy en cuenta en su construccion la idea de economía, á cuyo objeto se han anulado los empujes por medio de los tirantes; se han verificado todas las uniones de los diversos hierros con el roblonado ordinario; se ha reducido el espesor de los muros laterales, puesto que no sostienen el peso de la cubierta, sino que ésta se apoya directamente en sus cimientos y en el suelo, y por fin se han suprimido las disposiciones ordinarias para dejar libre la dilatacion ocasionada por la temperatura, en razon á que esta causa solo producirá una ligera elevacion en la parte central de esta gran construccion.

308. **Cerchas curvas sin tirante.**—Entre los varios ejemplos que pueden presentarse de cerchas de esta naturaleza nos fijaremos en las que componen la armadura principal del Palacio de cristal de Sydenham, cerca de Lóndres, no solo por sus grandes dimensiones y racional disposicion de las piezas que la forman, sino por su antigüedad relativa y por el empleo simultáneo del hierro laminado y fundido, aunque en algunos detalles pudiera reemplazarse con ventaja el segundo por el primero.

La armadura se compone de cerchas pareadas que están á $7,^{m}30$ de separacion y se ligan sólidamente entre sí, como se verá despues, dejando entre cada par intervalos de $21,^{m}95$.

Cada cercha (fig. 548, lám. 26) forma un arco semicircular, que apenas produce empujes, de un espesor constante de $2,^{m}44$ y de $15,^{m}86$ de rádio interior. El reborde exterior del arco, lo mismo que el interior, consta de dos hierros de ángulo $ab, a'b'$ (fig. 549) de $0,^{m}152$ por $0,^{m}080$, unidos por sus cabezas con placas de $0,^{m}254$ de ancho y $0,^{m}006$ de grueso. Estos rebordes, de seccion constante en toda la longitud del arco, están ligados entre sí por flejes formando celosía, y el desarrollo del arco se encuentra dividido en 22 partes iguales, cada una de las que contienen dos cruces de San Andrés de la celosía y está limitada en direccion de los rádios por dos manguetas. Estas son alternativamente de hierro fundido y laminado, llevando las primeras (fig. 550) puntos de fijacion para las correas que enlazan los cuchillos, y formándose las segundas con dos hierros en canal de $0,^{m}10 \times 0,^{m}038 \times 0,^{m}006$, interponiendo dos pla-

cas que roblonadas á ellos mantienen su separacion. En los hierros de ángulo de los rebordes se alternan las juntas á cada 4,^{m}20 próximamente, y á cada 0,^{m}53 se interponen placas que tambien se fijan con roblones como en las manguetas de hierro forjado. Los flejes de la celosía tienen 0,^{m}10$\times$0,^{m}01 de seccion pero no siguen una direccion rectilínea sino que forman líneas quebradas para que se crucen á la mitad y á los cuartos de la distancia entre los rebordes, uniéndose en los cruzamientos con un roblon de 0,^{m}019 de diámetro (figs. 551 y 552) y cubriéndose la junta con un resalto circular que sirve de adorno.

Los extremos de las diagonales de la celosía *dd'* (fig. 549) y las manguetas de hierro forjado se fijan á lós rebordes del arco con un roblon de 0,^{m}028 de diámetro y las manguetas de fundicion tienen en su parte central y extremos los rebajos y aberturas convenientes para la fijacion de las diagonales y las correas, haciéndolo estas últimas con 6 ó 4 pernos, segun tengan 1,^{m}83 ó 0,^{m}915 de alto, como se verá despues. Estas manguetas llevan además en cada extremo dos orejas, señaladas de puntos en la fig. 550 que entran entre los dos hierros de ángulo de los rebordes, á los que se fijan con un fuerte perno, colocándose por la parte inferior un adorno *mn*.

Hay dos clases de correas, unas de 7,^{m}30 de longitud y 1,^{m}83 de altura, que sirven para ligar sólidamente cada par de cerchas, y otras de 21,^{m}95 de largo y 0,^{m}915 de alto, colocadas de un par de cerchas á otro, las cuales solo tienen por objeto sostener los cábios curvos de que despues hablaremos. Las primeras correas constan de un reborde superior y otro inferior formado cada uno de dos hierros de ángulo ligados por medio de montantes *ab* (fig. 553) de hierro forjado y flejes rectos formando celosía. Los montantes, que están á 2,^{m}43 uno de otro, consisten en dos hierros en T que comprenden entre sus cabezas dos diagonales de la celosía, de una manera análoga á las manguetas de hierro laminado en las cerchas principales. Las otras correas de altura mitad, que aparecen á la derecha de la figura, tienen el reborde superior como las anteriores, pero el inferior solo consta de dos flejes, enlazándose del mismo modo que en el caso anterior con montantes separados 2,^{m}43 y aspas formadas con flejes, cuya seccion trasversal decrece hácia los extremos, fijándose unos y otros por medio de pernos.

Sobre los montantes de las correas se encuentra un cábio *dd* (fig. 553) que afecta la curvatura de la cercha principal, formado por hojas de palastro de 0,m30 de alto y unos 2,m40 de largo, con dos rebordes hechos con hierros de ángulo, como aparece en mayor escala en la fig. 554. Para ligar estos cábios á las correas se ha dispuesto, en cada extremo inferior de los montantes que éstas llevan la fijacion de dos varillas que por esta parte terminan en un ensanche con un ojo, por el cual atraviesa el pasador que fija dichos montantes con el reborde inferior de las correas, y cada par de estas varillas termina superiormente en el reborde inferior del cábio y concurren al punto medio entre dos correas, á cuyo fin se fija al primero en este punto una pieza de fundicion, á la que se sujetan las primeras con cuñas, como se ve en *a* en la fig. 555 y 556 de la lám. 27. El ángulo que entre sí forman estas dos varillas es distinto, segun correspondan á las correas anchas ó estrechas, por más que sea la misma en todos los casos la disposicion adoptada.

Junto á la extremidad exterior de cada mangueta de fundicion se fija con 8 roblones una pieza que recibe el extremo de varillas *fg* (fig. 549), las cuales forman un atirantado oblícuo respecto á las cerchas, y en su punto de cruzamiento terminan en un fuerte anillo al que se unen á rosca y tuerca, segun aparece en dos proyecciones y en mayor escala en la figura 557. Este anillo *h* es de hierro fundido, pero reforzado con otros dos de hierro dulce que abrazan lateralmente al primero y le oprimen con fuerza, á cuyo fin se los colocó á la temperatura del rojo.

Cada arranque de las cerchas descritas se apoya sobre dos columnas de fundicion separadas entre sí 2,m43 (fig. 548), de modo que cada reborde insiste sobre una de éstas, sirviendo de medio de union un fuerte bastidor de hierro fundido *abcd* (figura 558) que inferiormente se une con pernos al extremo de cada columna y á la carrera que las enlaza, y de un modo análogo por la parte superior á los rebordes y mangueta de arranque de la cercha. En las columnas exteriores se fija una canal *h* (figura 549) que aparece en mayor escala en la 559 lám. 26, la cual corre todo el edificio y desde la que pasa la lluvia á las mencionadas columnas, que son huecas interiormente. El resto de los apoyos, formados por columnas enlazadas con cuchillos en ce-

losía, de fundicion tambien, y atirantado el conjunto como se ha dicho más arriba, lo da bastante á conocer la inspeccion de las figs. 548 y 549.

Por último, y aunque esta parte corresponda á la cubierta propiamente dicha, añadiremos que ésta es de cristal en todo el edificio, y para establecerla se ha colocado entre los cábios curvos *dd* (fig. 553), de que ya se ha hecho mérito, otros análogos pero de casi triple altura *ff*, sosteniendo los primeros unas canales curvas de palastro cuya seccion trasversal aparece en la fig. 554, roblonándose por cada lado á sus bordes un hierro en ángulo y una pieza de madera que se fija con tornillos.

A esta pieza vienen á terminar inferiormente los listones del encristalado, que por su extremo superior se fijan de un modo análogo á los cábios altos *ff* y distan entre sí unos 0,^{m}30. Esta cubierta, que puede llamarse en miniatura, corre todo á lo largo de los cábios desde la canal general (fig. 548) hasta los montantes que sirven de apoyo á la linterna superior construida como se ha dicho más atrás en otro ejemplo.

309. **Observacion.**—Modernamente se tiende á reemplazar los hierros de diversas formas con el palastro, para la formacion de las cubiertas, y de este material se han construido las cerchas, correas y cábios de algunas; pero no creemos necesario describirlas despues de los detalles que hemos dado en los ejemplos anteriores y de lo dicho al tratar de los suelos.

Tambien en las cubiertas de hierro se tienen que establecer en muchos casos faldones, nudos, nudillos y aberturas; pero su construccion está sometida á las mismas reglas indicadas al tratar de este asunto en las de madera, y solo en los detalles de las uniones de las piezas es donde puede haber algunas variantes, aunque siempre proporcionando en estos puntos la resistencia necesaria á la obra.

ARTÍCULO III.

Tejados.

310. **Su objeto.**—En la construccion de los tejados se emplean varios materiales, segun sea la importancia de la obra ó las condiciones de la localidad; pero todos se pueden agrupar

en tres clases segun se empleen productos vegetales, piedras naturales ó artificiales, ó planchas metálicas.

Como la condicion principal que deben llenar los tejados es la de ser lo más impermeables y lo ménos absorbentes posible, se comprende que los primeros productos indicados son los que llenan de una manera más imperfecta esta doble condicion, al paso que los últimos la cumplen casi por completo; pero hay otras circunstancias, como coste, objeto é importancia de la obra, que impiden en muchos casos el conveniente empleo de éstos. Por lo tanto, los examinaremos en el órden mencionado.

311. **Tejados de productos vegetales.**—En las obras provisionales ó de escasa importancia se emplean *cobertizos* ó cubiertos vegetales, siendo los más usados los de paja, tablazon, telas, etc.

312. **Cobertizos de paja.**—La ejecucion de estos cobertizos es muy sencilla y consiste en formar hacecillos de paja que se atan á $^1/_3$ ó $^1/_4$ de la longitud total por su extremo más grueso, con juncos, mimbres y aun con la misma paja reblandecida, ligando entre sí cada dos hacecillos. Estos se van atando á las piezas horizontales *aa* (fig. 560, lám. 27) de modo que estén lateralmente en mútuo contacto y queden hácia abajo las puntas más delgadas, y despues de establecida la primera zona horizontal, que siempre es la inferior ó del alero, se la iguala peinándola con un rastrillo. Sobre ésta se coloca de la misma manera la segunda zona, pero recubriendo en cierta parte á la primera, y se va así continuando hasta llegar á la cumbrera, sobre la que se sitúan los haces, abiertos por su extremo delgado y puestos á horcajadas, para formar lo que se llama el *caballete*. A más de atarse estos haces del caballete como los demás, se los recubre con un mortero de tierra grasa ó arcillosa y á veces con céspedes.

Las piezas *a* pueden ser listones que se claven sobre los cábios; pero dada la poca importancia del cubierto, se emplean por lo regular piezas rollizas que se unen á las demás por medio de ligaduras, sin tener que emplear clavazon alguna, como se representa en la figura. La paja preferible es la de centeno, por ser más dura y larga que las demás; pero siempre sucede que al cabo de algun tiempo de hecho el cubierto se presentan al-

gunas goteras, que se tapan introduciendo nuevos hacecillos en los huecos que las produzcan.

Tambien se emplean para el mismo objeto los juncos, cañas y carrizos, que se colocan del mismo modo, y proporcionan un cubierto algo más duradero.

Todos estos cobertizos tienen la ventaja de ser ligeros y económicos, pero en cambio duran poco tiempo; no preservan bien el interior sino á fuerza de una conservacion constante; sirven de abrigo á muchos insectos, y son sumamente combustibles.

313. **Cubiertos de tabla.**—En obras algo ménos toscas se suelen emplear las tablas, que unas veces se colocan en direccion de la máxima pendiente del tejado y otras en la horizontal.

En la primera disposicion se ponen unas al lado de otras, clavándolas á las piezas horizontales de la armadura y cubriendo las juntas con listones (fig. 561, lám. 26). Otras veces dejan las tablas entre sí ciertos intervalos que se recubren con otras, segun se indica en la fig. 562.

Cuando se colocan en direccion horizontal se disponen de modo que las superiores solapen á las inferiores y se cuida de que las juntas caigan encima de los cábios. Estas se cubren con listones que en la cara inferior presentan los rebajos convenientes, como aparece en la fig. 563 (lám. 27). Se mejora el asiento de la tablazon si en la cara superior de los cábios se hacen tambien rebajos, y en uno y otro caso se fijan las tablas á cada pieza inferior de la armadura por medio de dos clavos.

Los tejados en que las tablas están en direccion horizontal dan mejores resultados que los otros; pero en ambos se alabean al poco tiempo y se pudren con rapidez, motivo por el que solo se emplean en obras de corta duracion.

314. **Cubiertos de tela.**—Se han empleado con este objeto telas impermeables, que se colocan sobre un enlatado general clavado á la armadura. Para formar el cubierto se empieza por extender la tela en la parte inferior de la vertiente y á 2 ó 3 centímetros de las orillas se clavan varias tachuelas que las fijan al enlatado. Hecho esto, se pone encima otra tela con el revés hácia arriba y su orilla superior se cose con la de abajo, doblándolas despues en los 2 ó 3 centímetros referidos y clavando los cuatro espesores que resultan en el reborde con una fila de tachuelas. Por último, se vuelve por la union la tela que

estaba encima y se fija al enlatado como la anterior, continuando de la misma manera en el resto del cubierto.

Además de estas sustancias se han empleado tambien para el mismo objeto fieltro, carton y papel impregnados de asfalto ú otras materias que los hacen impermeables. Estos tejados se construyen como los de tela; pero unos y otros son poco duraderos y solo tienen hasta ahora conveniente aplicacion en edificios provisionales ó transitorios.

315. **Tejados de piedra.**—En la construccion de los tejados pueden usarse piedras naturales y artificiales. Las que tienen más aplicacion entre las primeras son las pizarras y entre las segundas las tejas, vidrios, baldosas y asfaltos. Cada uno de estos materiales presenta sus ventajas é inconvenientes segun sea el destino é importancia de la obra y las condiciones de localidad en que se levante.

316. **Tejados de pizarra.**—Para la construccion de estos tejados, que tambien reciben el nombre de *empizarrados*, hay que comenzar por establecer sobre los cábios de la armadura, y cruzándolos á ángulo recto, un enlatado contínuo de $0,^{m}015$ á $0,^{m}020$ de grueso, segun se empleen tablas de encina ó de pino, y éstas se unen á cada cábio con dos clavos á lo ménos, que tengan unos $0,^{m}04$ de longitud. Hecho esto y cortadas las pizarras segun una de las formas representadas en las figs. 564 á 566 (lám. 26) se abren dos agujeros á lo ménos en su extremo superior y se van clavando unas al lado de las otras por filas horizontales y empezando, como siempre, por el alero de la vertiente. Despues se coloca la segunda fila de modo que cubra á la anterior en dos terceras partes de su ancho y resulten las juntas encontradas, y así se prosigue en lo restante. La superficie que queda sin recubrir en cada pizarra se llama *vista.* Para fijar las pizarras se usan puntas de París de cabeza ancha y delgada, con una longitud de $0,^{m}02$ próximamente, y en las obras esmeradas son de cobre en vez de hierro, como se dijo en el núm. 307. En las limas se cortan oblícuamente los lados de las pizarras contiguas y se cubre la arista con una plancha metálica, como aparece en la fig. 567 (lám. 27), y la misma disposicion puede adoptarse en los caballetes. Las figs. 568 á 570 indican respectivamente caballetes formados con tejas como de ordinario, con planchas metálicas, recubriéndose la cabeza de

los clavos que las fijan con aletas *aa* para que no pase el agua á la armadura, y á la inglesa, que es sin duda disposicion más sencilla, eficaz y segura.

En los tejados de pizarra, lo mismo que en los demás, conviene colocar fuertes gárfios de buen hierro que sirven para sujetar á los operarios ó á sus escalas durante las reparaciones, sobre todo si la inclinacion de la cubierta es algo considerable. Estos gárfios se fijan sólidamente á los cábios, situándolos de distancia en distancia por filas horizontales, si la vertiente es grande, ó solo en las limas y caballetes, y se los guarnece con planchuelas de plomo para que el agua no pase á través de la cubierta.

Los empizarrados son ligeros y poco permeables, pero resultan algo caros y tienen el gran inconveniente en los incendios de saltar pedazos candentes de las pizarras que pueden comunicar el fuego á los edificios inmediatos ó dañar á los operarios.

317. **Tejados de teja ú ordinarios.**—De dos modos se pueden construir, cuando se emplean las tejas ordinarias ó lomudas, y segun los casos reciben el nombre de tejados á *teja vana* y *á torta y lomo*.

Los primeros solo se emplean en edificios humildes, y la operacion está reducida á clavar sobre la armadura y en direccion de la pendiente varios listones *b* (fig. 571) que dejen claros menores que el ancho de la teja. Esta se coloca cubriendo los claros y se solapan unas á otras en $^1/_3$ ó $^1/_4$ de su longitud, rellenando los huecos que resultan entre cada dos filas con una tortada de barro. Tambien se puede hacer la teja vana sobre un enlatado contínuo poniendo los materiales de modo que se toquen lateralmente los bordes; pero tiene poco uso esta disposicion y solo se emplea en los tejados á torta y lomo.

Estos son los más generalizados y se construyen ordinariamente empezando por establecer un enlatado sobre el que se colocan segun la máxima pendiente las *canales cc* (fig. 572) que inferiormente se calzan con ripio ó cascos de tejas y ladrillos y se solapan como se ha dicho antes. Los claros laterales que resultan entre las canales se cubren con tejas que presentan su lomo hácia arriba, llamadas *cobijas*. Estas se solapan tambien en direccion de la vertiente y se colocan poniendo hácia arriba

la extremidad más estrecha, al contrario de lo que se hace con las canales. El caballete y las limas se cubren con tejas ordinarias y de mayores dimensiones, llamadas *maestras* ó *de arista*, las cuales se colocan como las cobijas y se aseguran con mortero. Si reinan fuertes vientos en la localidad ó se desea tener una obra más segura, se cogen tambien con mortero una de cada tres ó cuatro cobijas y además se rellenan en el alero los huecos comprendidos entre las tejas y el enlatado.

Si se emplean tejas que tengan en su cara inferior un piton ó saliente, las cuales se usan poco en nuestro país, en vez del enlatado se forma un enlistonado en el que se apoyan los pitones. Empleando tejas planas, la construccion del tejado se verifica análogamente á cuando se usan las lomudas, aunque con más rapidez y facilidad, cuidando de que encajen bien los rebordes de unas con otras para evitar goteras y colocándolas de modo que el agua corra segun la línea de máxima pendiente del tejado. Como estas tejas tienen piton en la cara inferior, la armadura se reduce en la generalidad de los casos á un enlistonado horizontal sujeto directamente á los pares, separando los listones lo necesario para colgar de ellos las tejas. Así se han cubierto varias obras importantes, como en las modernas reparaciones del Alcázar de Toledo, por ejemplo, habiendo dado buenos resultados y facilitándose la conservacion de esta clase de obras.

Los cubiertos de teja son los más económicos de todos los de piedra; conducen mal el calor y se pueden hacer desde luego impermeables barnizando la cara superior de las tejas: si no se toma esta precaucion siempre se forman goteras en el primer invierno. En cambio son pesados, sobre todo los de tejas lomudas, lo que obliga á dar mayor resistencia á la armadura.

318. **Tejados de vidrio.**—Cuando se quiere alumbrar superiormente el espacio comprendido por la cubierta, se hace uso de este material.

La construccion se reduce á establecer sobre las piezas superiores de la armadura que se trata de cubrir una série de listones paralelos y equidistantes, cuya separacion sea igual al largo ó ancho de las placas ó panales de vidrio que se van á colocar. Los listones pueden ser de madera ó de hierro (fig. 573) pero en ambos casos presentan los rebajos convenientes para

que encajen los vidrios, y siempre se los sitúa en la direccion de la máxima pendiente de la superficie que cubren. Los vidrios se ajustan en los rebajos antedichos y se aseguran con el mastic de vidriero, cuidando además de que cada uno solape al inferior en unos 2 centímetros á lo ménos. Con objeto de reunir la lluvia en la parte central de cada vidrio, se corta su borde inferior, como se dijo en los empizarrados y se indica en las figs. 565 y 566. Encima de cada liston se clava otro que sirve de cubrejunta y fija la posicion de los vidrios: éstos se eligen entre los llamados de doble espesor que tienen de grueso 0,^{m}005 próximamente.

Tambien se han empleado tejas de vidrio de la forma ordinaria; pero su aplicacion no está justificada ni es conveniente.

Los tejados de vidrio, á más de dar luz al interior tienen la ventaja de ser muy ligeros é impermeables, pero resultan más caros que los de pizarra y teja.

319. **Terrados ó azoteas.**—En los climas templados como el nuestro se suelen construir tejados que solo posean la inclinacion necesaria para la fácil salida del agua (3 á 6 por 100), y que tengan además una superficie igual y sin solapes para que se pueda transitar por ellos con seguridad.

Esta doble condicion obliga á tomar precauciones especiales al construir estas cubiertas, con el fin de hacer independientes en cuanto es posible las flexiones que por las cargas pueda esperimentar la armadura de la superficie superior del terrado, que debe ser indeformable, á fin de evitar las grietas que habrian de ocasionar goteras y apresurar la destruccion completa de la obra. Esta construccion participa de los caractéres de cubierta y de suelo, y aun cuando se han propuesto varios sistemas para su ejecucion, describiremos únicamente el que se practica en Cádiz, por ser el que ha dado resultados más satisfactorios.

Sobre los cábios *aa* (fig. 574) de una fuerte armadura, se colocan los listones de madera *cc* cuya escuadría es de 0,^{m}07×0,^{m}03, distando entre sí de eje á eje la longitud del ladrillo ó baldosa que se ha de poner encima (0,^{m}28), y asegurándolos á los cábios en los cruzamientos con clavos de 0,^{m}08 de largo. Estos listones se sacan aserrando en cuatro partes tablones que tengan 0,^{m}28×0,^{m}03 de escuadría.

Encima se colocan baldosas ó ladrillos *dd* que están raspados por su cara inferior, la cual es un poco más grande que la opuesta, y recorridas sus aristas, con el fin de que ajusten bien sobre los listones y entre sí, y puedan girar algo, sin romperse, al rededor de estas aristas. Una capa de buen mortero ordinario *ff* que recubra á los ladrillos en 0,^{m}02 ó 0,^{m}03 se extiende despues, y teniendo en cuenta el tiempo que tarda en fraguar, la permite amoldarse sin roturas á los cambios de forma que pueda experimentar la armadura. Hecho ésto, se vá extendiendo por capas delgadas, que se apisonan ligeramente á medida que se colocan, una masa de barro, de 0,^{m}08 á 0,^{m}10 de grueso, cuidando de que no sea demasiado arcilloso este material, para lo cual se le mezcla si es preciso con un poco de arena y se pasa esta mezcla por un tamiz fino. Sobre esta capa de barro se pone otra de mortero hidráulico *gg*, tambien del grueso de 2 ó 3 centímetros, y por último se asienta sobre esta capa impermeable y resistente el embaldosado superior, como ya se ha dicho más atrás.

La masa de barro adherida á las dos capas de mortero sirve como de resorte ó cuerpo elástico que impide trasmitir al embaldosado superior las flexiones que pueda experimentar la armadura; así es que en el caso en que esta experimente una depresion, la masa de barro aumentará algo de espesor en el centro de la azotea, disminuyendo un poco por esta causa su densidad; pero conservando siempre la suficiente resistencia para sostener la carga que soporta. Además, si se agrieta alguna junta del embaldosado superior ó la capa de mortero hidráulico, al penetrar la lluvia hincha un poco el barro y cierra la via de agua. Es tambien conveniente emplear en el embaldosado materiales impermeables y poco absorbentes para evitar trasudaciones perjudiciales, y con este objeto se han reemplazado en muchos casos las baldosas ordinarias con una capa de buen cemento, y tambien se ha hecho uso de azulejos, aunque con el inconveniente de presentar una superficie pulimentada y resbaladiza.

Para que sea seguro el tránsito por la azotea se la rodea de un murete ó pretil que forma ático en la fachada del edificio, el cual tiene varias aberturas en la parte inferior, si se quiere que el agua salga inmediatamente de la construccion, ó carece

de ellas y presenta al pié de la cara interior un resalto de ladrillo para alejar las aguas y evitar filtraciones en las viviendas inferiores, si se las quiere destinar á los usos domésticos. En este caso hay que establecer en la azotea un punto bajo algo separado de los muros y del cual parta el tubo de bajada del agua.

320. **Tejados de asfalto.**—Muchas tentativas se han hecho para emplear este material en la cubierta de las edificaciones; pero todas han dado malos resultados, lo cual no es de extrañar, porque formando esta sustancia poco despues de puesta en obra una capa rígida, se agrieta en breve tiempo por los cambios de forma que experimenta la armadura, lo cual no sucede cuando se hace uso de materiales que se solapan y permiten cierto juego. Solo en el caso de cubrir armaduras de fábrica, despues que hayan experimentado su asiento, ó como pavimento de azoteas construidas de la manera antes expuesta, podrá llenar su objeto este material, cuya colocacion examinaremos al tratar de los enlosados.

321. **Tejados metálicos.**—Para cubrir las armaduras se emplean tambien planchas de plomo, cobre, zinc, palastro y hasta hojalata. Las del primer metal tienen los inconvenientes de ser muy pesadas y destruirse si caen sobre ellas aguas saladas, á más de romperse fácilmente con las variaciones atmosféricas y fundirse pronto en los incendios. El elevado precio del cobre y del laton impide que tengan conveniente empleo, y la hojalata es demasiado endeble y oxidable en nuestros climas, por más que se conserve bien en el Norte de Europa. Por lo tanto, los únicos metales que se emplean en condiciones favorables para formar los tejados, son el zinc y el hierro.

Aunque con estos dos metales se podria alcanzar, por medio de soldaduras, que las planchas de cada vertiente no formasen más que una sola, esto tendria el grave inconveniente de que dilatándose y contrayéndose alternativamente por los cambios de temperatura y estando fija á la armadura en todo su contorno, se originarían al cabo de algun tiempo grietas, á través de las cuales podria pasar el agua llovediza. Pero si se quisiera reducir las dimensiones de las planchas hasta el punto de que pudieran colocarse como las pizarras ó las tejas, será preciso adoptar precauciones especiales para que un golpe de viento no

pueda levantarlas y doblarlas, exigiendo de todos modos una costosa mano de obra.

Generalmente se emplean con este objeto planchas de zinc ó palastro de las dimensiones ordinarias que proporciona el comercio, y de cuya colocacion nos vamos á ocupar.

322. **Tejados de zinc.**—Los tejados de zinc son muy ligeros comparados con los ordinarios, y permiten reducir la escuadría de las piezas de la armadura, siendo además su conservacion casi nula durante muchos años, pues que existen obras de esta clase hechas en 1820, que no han dado lugar á reparacion alguna.

El zinc se puede emplear en chapas planas ú onduladas.

323. **Chapas planas.**—Para hacer uso de éstas se empieza por establecer un enlatado que cruce á los cábios y sobre el cual se van tendiendo las chapas segun zonas paralelas á la pendiente del tejado (fig. 575). La primera chapa *a* se coloca en la parte inferior y hácia un extremo de la vertiente, y se la fija al enlatado por su borde superior con cuatro ó seis clavos de zinc de cabeza achatada: los bordes laterales forman un corchete ó junquillo de unos 0,^{m}02 de diámetro para el enlace con las chapas contíguas y se sujetan al enlatado con *manecillas m*, cuya forma aparece en mayor escala en la fig. 576, que tienen próximamente 0,^{m}10 de ancho por 0,^{m}12 ó 0,^{m}14 de longitud desarrollada: están formadas de un zinc algo más grueso que el de las chapas y se clavan al enlatado con dos clavos á lo ménos. Estas manecillas sujetan los junquillos sin que impidan la dilatacion de las chapas. Hecho ésto se coloca encima otra chapa *b* que solape á la primera 10 ó 12 centímetros, clavándose su borde superior y sujetando los junquillos como se acaba de decir, continuando de la misma manera hasta llegar á la parte superior de la vertiente.

Al lado de esta primera zona se coloca otra con chapas que se disponen y fijan de la manera explicada, cuidando de enganchar los junquillos con los ya puestos y de hacer que el centro de cada chapa corresponda á la junta de la zona contígua. La vuelta de los junquillos debe ponerse del lado de los vientos dominantes y el enlace de unos con otros aparece en seccion y en mayor escala en la fig. 577. Las demás zonas se colocan de la misma manera hasta cubrir toda la armadura.

Este sistema de enlace lateral de las chapas, aunque sencillo y económico, presenta el inconveniente de tenerse muchas veces que deshacer gran parte del tejado cuando se trata de reconocer las grietas que ocasionan goteras á lo largo de los junquillos, y es poco empleado en el dia.

Otra disposicion aparece en la fig. 578, en la que las chapas tienen dos junquillos laterales doblados en sentido inverso, que están cubiertos por una falsa cubrejunta *a*, que sirve de corchete. Las chapas se colocan como en el caso anterior, fijándose al enlatado con manecillas de la forma representada en la fig. 579, y despues se sujetan entre sí con el encorchetado. Aunque con este sistema se pueda reconocer más fácilmente que con el anterior el estado de las chapas, es por otra parte algo más caro en material y mano de obra.

En el dia se adopta otra disposicion, que consiste en encorvar un poco los bordes laterales de las chapas é interponer entre ellos un liston de pino ó encina de 3 ó 4 centímetros de escuadría, el cual sigue la direccion de los cábios y se clava al enlatado, fig. 580 (lám. 28). A este liston *aa* se fija la cubrejunta por medio de roscas de madera, cuya cabeza se recubre con soldadura ó con una chapa soldada y se encorva lateralmente como se ve en mayor escala en la fig. 581, para que oprima un poco las chapas é impida que el viento las levante. Además están redobladas las chapas por su borde superior hácia arriba y por el inferior hácia abajo, abrochándose mútuamente segun aparece en *s* y se representa en *t* en las dos citadas figuras. Por el borde superior se fijan al enlatado con manecillas ó corchetes *bb*, que quedan cubiertas con la chapa que viene encima, y así se continúa hasta llegar al caballete, que tambien tiene su cubrejunta *cc* y á la que se sueldan lateralmente las pequeñas partes *d* que recubren á las de los listones, del mismo modo que lo hacen entre sí los diversos trozos de las cubrejuntas inclinadas de las vertientes.

Las chapas del alero terminan inferiormente en un junquillo *ff*, y el extremo de los listones se recubre con un chapeta *g* sujeta á la cubrejunta y arrollada al junquillo. La canal *hhh* está formada por chapas soldadas por sus extremos, encerradas en un encajonado de tablas, sujetándose los bordes superiores de aquella por un lado con el junquillo *ff* y por el otro con la

cubrejunta *mm*, que tambien retiene á las chapas *nn*, las cuales cubren el ático y cornisa del edificio (a).

Estas últimas se encorchetan inferiormente con una faja *r* situada debajo, que se clava á la cornisa, y las juntas de las primeras se cubren con otras fajas *pp*. El zinc que generalmente se emplea es de los números 13, 14 y 15 para el tejado y del 17 para las canales, cuyos espesores respectivos en milímetros son 0,78, 0,87, 0,96 y 1,23, teniendo las chapas 2 metros de largo por 0,^{m} 80 de ancho.

324. **Chapas onduladas.**—Tambien se emplean en la actualidad, con ventaja, chapas de zinc ondulado de 2,^{m}25 de largo por 0,^{m}75 de ancho (figs. 582 y 583, lám. 27); y á causa de la mayor resistencia que esta forma proporciona se puede suprimir el enlatado y hasta los cábios de la armadura. Las correas se colocan á distancias comprendidas entre 0,^{m}85 y 1,^{m}15 segun sea el grueso del zinc empleado, que ordinariamente es el mismo que para el caso anterior. La colocacion de las chapas se verifica solapando las superiores á las inferiores unos 0,^{m}12 y dirigiendo las ondulaciones segun la máxima pendiente del tejado. Cuando la armadura es de madera se fijan las chapas á cada correa por medio de tres manecillas y abrazaderas de hojalata (fig. 583) clavando las primeras á las correas y soldando las segundas á las chapas. La (fig. 584) hace ver aparte estas piezas. Si la armadura es de hierro, se forman las correas con piezas de ángulo que se fijan á los pares, como representa la fig. 585, soldando á las chapas las manecillas *aa* (figs. 586 y 587) y de esta manera se obtiene una cubierta incombustible. Al llegar las chapas de zinc ondulado al caballete del tejado, se cubre éste con otra chapa que preserve los extremos de aquellas, análogamente á como se dijo con las chapas planas, y por la parte de la canal se las dá cierta saliente, como se representa en la fig. 588, lám. 28.

Por el poco peso de los tejados de zinc, se puede reducir la

(a) La pequeña pendiente que se da á las canales no permite emplear los solapes como en el resto del tejado, por cuya razon se sueldan las chapas á lo largo y se las deja lateralmente á dilatacion libre. Tambien pueden dilatarse en las extremidades de cada trozo de canal de pendiente contínua, cuya longitud máxima, segun ha demostrado la experiencia, no debe pasar de 10 metros.

escuadría de las piezas de la armadura; además permiten el tránsito por encima sin causarles daño; y por último, es fácil desmontarlos sin pérdida alguna de material y volver á emplear las chapas en otra construccion.

325. **Tejados de palastro.**—Tambien se emplea el palastro para cubrir los edificios; pero presentando siempre la forma ondulada, como el zinc, y recubierto de una capa de éste metal, que es lo que se conoce con el nombre de palastro galvanizado.

Las chapas de palastro tienen de 1,^{m}80 á 2,^{m}40 de longitud y de 0,^{m}60 á 0,^{m}75 de ancho, y las ondulaciones más admitidas presentan de 7 á 12 centímetros de anchura por $^{1}/_{4}$ de este valor en profundidad. Estas chapas se apoyan directamente sobre las correas de la armadura, de la misma manera que se ha indicado en las de zinc, y presentan tal resistencia que la separacion de las correas puede llegar á ser de 2,^{m}50 á 4,^{m}50 segun sea el espesor del palastro y la profundidad de las ondulaciones. Los solapes de cada hoja sobre la inferior son de 0,^{m}10 próximamente y en sentido lateral de 0,^{m}06; pero estos valores aumentan algo si la inclinacion de la cubierta es muy pequeña.

Los tejados metálicos son resistentes, económicos y duraderos y permiten obtener una cubierta en buenas condiciones con el menor gasto posible en la armadura; pero en cambio, impiden que se pueda aprovechar para vivienda el espacio inmediato inferior, por el intenso calor que despiden en el verano.

326. **Canales, canalones y tubos de bajada.**—No siempre se apoyan las canales sobre los muros, como aparece en las figuras 580 y 588, sino que se clavan por bajo del extremo inferior de la vertiente, cuando ésta tiene algun vuelo sobre el muro en que se apoya. Se dá salida al agua que en ellas se recoge por medio de tubos algo inclinados, como aparece de trazos en *ab* de la última figura, llamados *canalones*, ó por tubos de bajada, como el representado en *cdef*, que unas veces se adosan al paramento del muro, y otras se embeben en su espesor continuando en ambos casos hasta cerca ó por bajo de la superficie del suelo, donde se los inclina para la salida del agua. Estos tubos, que son del mismo material que las canales, se colocan en los puntos bajos que éstas presentan á causa de las ligeras inclinaciones en sentido contrario que tienen, y distan entre sí unos 10 metros. El desagüe de los tubos de bajada puede

tener lugar sobre la acera contigua á la fachada, ó practicando en ésta un rebajo que se cubre con una placa de fundicion para no perjudicar el tránsito público; pero en uno y otro caso debe cuidarse, si hay cerca tubos metálicos, como los de conduccion de agua, gas, etc., de ponerlos en comunicacion por medio de alguna pieza metálica con los de bajada, por la razon que se expondrá al tratar de los para-rayos.

Cuando se construyen bien los tubos de bajada no son perjudiciales á la solidez de la edificacion y no molestan, durante las lluvias, al tránsito público como los canalones, siendo éste el motivo de que se adopten en el dia en las poblaciones de alguna importancia.

CAPÍTULO VI.

Escaleras.

327. **Consideraciones generales.**—Cuando hay que pasar de un punto á otro que está á distinta altura, se puede establecer entre ambos una superficie inclinada y contínua, ó bien ésta se reemplaza por una sucesion de planos verticales, limitados por otros horizontales y equidistantes, sobre los que insisten los piés: la última disposicion se conoce con el nombre de *escalera*. El espacio limitado por cada plano vertical y el horizontal superior forma la parte vista de un *peldaño*, en el cual se llama *huella* la cara horizontal y *contrahuella* la vertical.

Las escaleras sirven en las edificaciones para pasar de un piso á otro y afectan en proyeccion horizontal diversas formas, con arreglo al perímetro del espacio que han de ocupar. Este, que recibe el nombre de *caja de la escalera*, está limitado por muros verticales, en los que se apoyan los peldaños. Se llama *tramo* á la sucesion no interrumpida de peldaños, y *meseta* ó *descanso* á ciertos espacios horizontales de mayor ancho que los peldaños, que se sitúan á alturas determinadas y sirven de reposo ó descanso cuando hay que subir una escalera de mucha elevacion.

Para que la subida de una escalera no sea fatigosa, conviene que la altura entre dos descansos no pase de 2,5 á 3 metros: el ancho de cada uno de éstos, deberá ser al ménos el suficiente

para poder dar un paso en él, antes de empezar á subir el tramo siguiente, y por lo tanto no será menor de $0,28+0,64=0,^{m}92$. Aun cuando en general se prescribe que sea impar el número de peldaños que formen cada tramo, no hay inconveniente en que esto no suceda cuando llenan otras condiciones que estableceremos más adelante. Lo que sí debe evitarse es la formacion de tramos con ménos de tres peldaños; pues de lo contrario, á más de un aspecto mezquino, seria apenas perceptible en la oscuridad y haria la marcha peligrosa.

328. **Clasificacion.**—Puede emplearse en la construccion de las escaleras la fábrica, la madera y el hierro. En los grandes edificios públicos y de importancia, como palacios, teatros, etc., se adopta con preferencia la sillería y alguna vez se hace uso del hierro; pero debe proscribirse la madera, sobre todo en los segundos, á causa de su combustibilidad. En los edificios particulares se emplea la piedra, el ladrillo y más generalmente la madera; y cuando la escalera haya de ocupar muy pequeño espacio se hace un uso casi exclusivo de la madera y el hierro.

Bajo el punto de vista de su forma general se clasifican en escaleras de *tramos rectos*, *curvos* y *mistos*. En el primer grupo se comprenden las de *tramo seguido* ó *interrumpido por mesetas*, que tienen la forma representada en proyeccion horizontal por la fig. 589; las de tramo *de ida* y *vuelta* (fig. 590); las de *tres* ó *cuatro tramos* (fig. 591) hasta llegar á la vertical de donde empieza: y por último, las de tramo *de ida* y *doble vuelta*, que son las que revelan más suntuosidad y belleza, como sucede con la principal del Palacio Real de Madrid, representada en planta, alzado y detalles en las figs. 592 á 594.

El segundo grupo se divide en dos especies, llamadas *de alma* ó *de ojo*, segun tengan en la parte central un núcleo al cual vengan á apoyarse los peldaños (fig. 595), ó quede un claro (fig. 596) en cuyo caso los peldaños solo se apoyan unos sobre otros y en la caja de la escalera.

Los peldaños de los tramos rectos presentan una huella de ancho constante; pero en los curvos va este disminuyendo hácia el centro y se da el nombre de *línea de huella* á la que con más frecuencia se sigue al recorrer la escalera, la cual dista del núcleo ó del ojo de $0,^{m}48$ á $0,^{m}50$.

Por último, los tramos mistos constan de una parte rectilí-

nea y de otra curva (fig. 597); pero tales escaleras presentan el grave inconveniente de que aun dando á los peldaños de la parte curva, segun la línea de huella *abc*, el mismo ancho que tienen los demás, éste se reduce hácia el centro y aumenta hácia la caja. Cuando el tránsito no tiene lugar siguiendo la línea *abc*, es hasta un peligro el cambio de anchos que presentan los peldaños, y á fin de evitar este inconveniente y de conseguir que el cambio no sea tan brusco se ha adoptado una disposicion especial, que recibe el nombre de *compensacion*, de la que nos vamos á ocupar.

329. **Compensacion de las escaleras.**—Si una vez dividida en partes iguales la línea de huella y trazadas las normales mm', nn',... desarrollamos el cilindro vertical que pasa por el ojo ó por la caja, el primero por ejemplo, tendremos que la línea $a'b'c'$ (fig. 598) que une los puntos de interseccion de las aristas mm', nn' con el plano df será la recta $a'f'$, y otro tanto sucederá en la parte cilíndrica, que dará la trasformada rectilínea $f'g'$ (a). La segunda ha de tener mayor inclinacion que la primera, y se evita este cambio brusco de direccion trazando el arco de círculo $k'k'$ tangente á la recta $a'f'$ y á la trasformada $f'g'$ en su punto medio: este arco tiene por objeto reemplazarlas en la determinacion del nuevo ancho.

Para esto bastará ensanchar los peldaños comprendidos entre el arco y sus dos tangentes, sin cambiar su altura, á cuyo fin se trazan las horizontales $f'f''$, $r'r''$,... de suerte que el peldaño que antes tenia de ancho $f'f''$ ahora tendrá lm; el que tenia $r'r''$ será ahora ns y así de los demás. Una vez hecho esto, y llevando los nuevos anchos á dfg... tendremos uniendo los puntos que resulten con sus correspondientes de la línea de huella, que no han variado, las aristas definitivas de los peldaños.

Esta solucion no salva sin embargo todas las dificultades, ni se obtiene un movimiento uniforme, aun recorriendo la escalera por su línea de huella, á causa de la oblicuidad con que se presentan en la marcha las aristas de los peldaños. En efec-

(a) Suponemos aqui que la línea de huella y la de ojo dfg son circunferencias concéntricas, y por lo tanto los puntos de interseccion de que se habla en el texto pertenecen á una hélice. Este es el caso que más generalmente se presenta en las aplicaciones.

to, si se sube siguiendo la direccion *abc* (fig. 597) todos los pasos en la parte en que no hay compensacion serán iguales; pero al llegar á donde la hay, los que se den con el pié más próximo á la caja habrán de ser mayores que los que se den con el otro, y este cambio ó desigualdad es siempre molesto y á veces peligroso.

Por esta razon deberá evitarse, en cuanto sea posible, el empleo de las escaleras mistas, aunque se encuentren atenuados sus inconvenientes por medio de la compensacion; siendo de extrañar que la moda haya introducido su uso hasta en casos en que hubiera sido más fácil y racional establecer únicamente tramos rectos.

ARTÍCULO I.

Escaleras de piedra.

330. **Preliminares.**—Ya hemos dicho que la principal aplicacion de las escaleras de piedra es en los monumentos de importancia, y su empleo se extiende tambien al caso de tener que quedar al aire libre. Los dos materiales más empleados con este objeto son la sillería y el ladrillo; pero antes de describir su ejecucion determinaremos la relacion que debe existir entre el ancho de la huella y la altura de la contrahuella de cada peldaño. Esta cuestion, de gran interés para que el tránsito por la escalera sea poco fatigoso, es la primera que debe resolverse cuando se intenta ejecutar una construccion de esta naturaleza, cualquiera que sea el material de que se forme.

331. **Proporciones de los peldaños.**—Las dimensiones en ancho y alto que se dan á las caras vistas de los peldaños dependen de la magnitud que por término medio tiene el paso del hombre, ya sea andando en un plano horizontal, ya recorriendo uno vertical al subir por una escala de mano. En el primer supuesto, el paso tiene 64 centímetros próximamente y en el segundo $0,_{m}32$; así es que si llamamos *a* y *b* el ancho de la huella y la altura de la contrahuella, la fórmula empírica

$$a+2b=0,^{m}64$$

nos dará la relacion que se busca. En efecto, si en esta fórmula suponemos b=o resulta la magnitud antes asignada al paso

horizontal, y de la misma manera, haciendo a=o, se obtiene el valor del paso vertical.

Sin embargo de ésto, los límites entre los cuales pueden variar *a* y *b* se encuentran determinados en la práctica por la comodidad al subir una escalera cualquiera. Así, por ejemplo, si la altura de la contrahuella es menor que 0,m11, la marcha se hace molesta, y otro tanto sucede cuando excede de 0,m20; por consecuencia estos serán los límites de la contrahuella; y los correspondientes de la huella, deducidos de la expresion anterior, serán á su vez 0,m32 y 0,m24.

En cuanto á la longitud de los peldaños, ó lo que es lo mismo, al ancho de la escalera, deberá ser tal que por lo ménos puedan cruzarse dos personas, á no ser que sea reservada ó de poca importancia, en cuyo caso son más estrechas. Por punto general las escaleras de palacios y grandes edificios públicos tienen hasta 4 y 5 metros de ancho; las principales en la edificacion ordinaria varían de 1,m30 á 2 metros, y á veces llegan á estrecharse hasta 0,m90, y en las secretas se reducen en muchos casos á 0,m60. Por otra parte, se da acceso á edificios de gran importancia por medio de escalinatas que tienen 8, 10 y más metros de amplitud.

Las primeras dimensiones, asi como la relacion entre la huella y contrahuella, se aplican en la edificacion á las escaleras de madera y hierro del mismo modo que á las de piedra.

332. **Escaleras de sillería.**—Suponiendo ya conocido el aparejo de estas construcciones, nos ocuparemos únicamente de su disposicion general y de la manera de construirlas.

Dos partes distintas hay que considerar en la construccion de estas escaleras, que son; los peldaños y los apoyos en que insisten, que suelen ser los muros de caja por el lado exterior y zancas por el interior. Cada uno de los primeros está formado por lo regular de una sola piedra, y termina inferiormente de modo que resulte una superficie contínua: por un extremo entran en un rebajo practicado en los muros de caja, en el que se empotran, y por el otro puede terminar en una zanca *abcd* (fig. 599), ó no hacer más que apoyarse sobre el peldaño inferior segun el plano horizontal *ef* (fig. 600) y el normal al intradós *fg*. Adoptando esta última disposicion, la escalera tiene la solidez necesaria, puesto que el peldaño más alto de cada tramo,

como el *mn* (fig. 599) está unido al descanso correspondiente.

En las escaleras sin zanca ó *colgadas* varía el ancho del plano *fg* con la resistencia de la piedra y se admite por lo regular que sea $^1/_3$ ó $^1/_4$ del de la contrahuella: el doble de dicho valor se suele adoptar para el solape ó recubrimiento de un peldaño con otro.

Cuando existe la zanca se disponen los peldaños de modo que cada uno lleve un trozo de ella, unas veces sin aumentar sensiblemente la altura de aquellos, aunque sí su ancho, como se ve en seccion y perspectiva en las figs. 601 y 602, y otras por el contrario en que crece la altura pero no el ancho, segun se representa en las 603 y 604. Las zancas dan indudablemente más solidez á la escalera é impiden que puedan moverse los peldaños cuando no están bien empotrados en la caja; pero en caso contrario no son necesarias; y como siempre exigen un aumento de gasto, no se suelen emplear en el dia sino en las obras que revelan cierta riqueza. Las mismas consideraciones en cuanto á la construccion se aplican al caso de ser la escalera de tramos curvos, segun se representa en la fig. 605.

En las escaleras de piedra, lo mismo que en las de madera y hierro, se acostumbra dar á los dos ó tres primeros peldaños mayor longitud que á los demás, con objeto de facilitar su acceso, y conviene advertir tambien que el ancho de la huella se mide por la distancia horizontal entre dos aristas contiguas *e* y *h* (fig. 600), prescindiendo de las molduras en que cada peldaño pueda terminar segun esta arista.

Si el corte de los peldaños está bien ejecutado basta irlos colocando sucesivamente y en la posicion que les corresponde, como se hace con los sillares de un muro, interponiendo una delgada capa de mortero fino, y en algunos casos se ha llegado hasta suprimir este medio de ligazon, fiando la solidez de la obra al corte de las piedras.

Con el fin de evitar el coste de la labra de los peldaños y de proporcionarles la solidez conveniente, llevando cada uno un trozo de la zanca ó del alma, sin que esto aumente tanto como en los casos ordinarios los gastos de construccion, se emplean en el dia peldaños de piedra artificial, los cuales se forman por lo regular de buen hormigon, que se vierte y comprime en moldes á propósito. Despues de fraguado el material se sacan y

pueden al poco tiempo emplearse en la obra, del mismo modo que si fueran de sillería ordinaria.

333. **Barandados y pretiles.**—La parte lateral de las escaleras, cuando no hay muros ó alma, se limita con una pequeña construccion de $0,^{m}80$ á $1,^{m}00$ de altura, la cual tiene por objeto dar seguridad al tránsito y recibe los nombres de *barandado*, *pretil*, *balaustrada* ó *antepecho*.

En las escaleras de sillería se forma de ordinario el barandado con este mismo material y se compone de una série de apoyos verticales llamados *balaustres* (fig. 594), que presentan gran variedad en sus contornos. La union de los balaustres con las zancas tiene lugar del mismo modo que con la pieza superior que los corona, llamada *pasamano*, que se sitúa equidistante de la zanca. Estas uniones se verifican á caja y espiga ó mejor á junta plana horizontal, para lo que se da á la zanca y pasamano la forma conveniente, como se ve aparte á la izquierda de la figura. La seccion trasversal del pasamano presenta en su parte superior una forma más ó ménos redondeada y los diversos trozos de que se compone están unidos por lo regular á junta plana ó quebrada, reforzada con grapas en la cara inferior y cuidando de que la junta resulte encima de un balaustre. En los extremos de cada tramo se colocan pilastrillas de mayor seccion horizontal que los balaustres, armonizando con éstos en su carácter y adornos.

A veces se reemplazan los balaustres con una superficie contínua formada con placas de piedra puestas de canto y recubiertas por el pasamano. Estas placas se unen á las piezas superiores é inferiores por medio de ranuras y lengüetas y entre sí de la misma manera. Sin embargo, muchas veces se interpone entre cada dos placas otra más estrecha y gruesa, resultando un pretil que aparece con recuadros más ó ménos adornados y á veces hasta con calados de mejor ó peor gusto.

Las uniones de las piedras que forman un barandado deben ser lo más esmeradas posible, empleándose con este objeto morteros finos de rápido fraguado, y tambien se ha hecho uso de grapas y espigas de metal empotradas con plomo, que para el buen aspecto de la obra conviene que no aparezcan á la vista.

334. **Observacion.**—La importancia de las escaleras segun el objeto que deben llenar y las dimensiones y formas de la caja

en que se han de establecer, pueden dar lugar á tantas disposiciones diversas, que seria difícil, si no imposible, describirlas todas. Sin embargo, como las de piedra se destinan por lo regular á la parte principal de los edificios importantes, se adoptan siempre formas regulares en su planta, lo que facilita su ejecucion, y se las da un carácter de riqueza y grandiosidad en armonía con el resto del monumento.

En los edificios ordinarios, ó bien cuando la planta es reducida ó irregular, se emplea de una manera casi exclusiva la madera ó el hierro, como vamos á ver á continuacion.

ARTÍCULO II.

Escaleras de madera.

Establecidos más atrás los principios generales que deben regir en la construccion de las escaleras, se aplican igualmente á todos los casos, lo mismo empleándose la piedra que la madera ó el hierro. La forma preferible para los peldaños y la relacion entre su huella y contrahuella son tambien independientes del material que se adopte, y podremos por lo tanto prescindir de estas consideraciones, entrando desde luego en el exámen de su construccion.

335. **Su division y ejecucion.**—Aparte de las formas variadas que presentan estas escaleras, en cuyo exámen entraremos más adelante, pueden dividirse en dos grupos, segun sean los peldaños llenos ó huecos. En el primer caso están formados por piezas de madera de suficiente escuadría para que, dándoles los cortes convenientes, puedan insistir unas sobre otras, del mismo modo que tiene lugar cuando son de piedra. En el segundo se construyen con dos tablones, uno puesto horizontal y otro vertical, formando la huella y contrahuella del peldaño.

Cuando los peldaños de madera son llenos, se imitan como acabamos de decir los cortes de los de piedra; pero teniendo en cuenta la menor resistencia del material, se ligan unos á otros por medio de pasadores que los atraviesan. La fig. 606 representa un trozo de escalera de este género, en el cual no se ha dibujado más que un solo pasador, á fin de no complicar el dibujo, y solo se indica de trazos el peldaño superior, que para

mayor claridad se ha puesto aparte en la fig. 607 apareciendo en proyeccion y seccion verticales para hacer ver mejor los taladros que ocupan los pasadores. Estos se colocan alternados de un peldaño á otro, como da á conocer en planta la fig. 608; y por más que en ésta se haya supuesto, en gracia á la claridad, que las piezas de madera son escuadradas, la disposicion queda exactamente la misma cuando se aplica á una escalera. Otro medio de enlace de estos peldaños es el que aparece en la figura 609 (lám. 29) por medio de falsas espigas y cabillas que las atraviesan.

Los peldaños llenos solo se emplean en escaleras lujosas de edificios importantes.

En el caso de emplearse peldaños huecos, es de necesidad que la escalera tenga zanca ó alma en las que se practican las ranuras convenientes, de unos 0,^{m}03 de profundidad, para que entren los extremos de las huellas y contrahuellas, segun se ve en la parte superior de la fig. 610 (a). Los extremos opuestos se empotran algunas veces en la caja de la escalera, pero de esta manera es fácil que se pudran en poco tiempo; y á fin de evitar este inconveniente se establece, empotrada en los muros de caja, una zanca análoga á la del ojo, llamada *falsa zanca*, y á la que vienen á unirse los extremos de los peldaños, del mismo modo que lo hacen á la zanca. Tambien se corta algunas veces la cara superior de ésta á redientes (fig. 612) y en tal caso se clavan en los cortes las huellas y contrahuellas, si bien esta disposicion no presenta la solidez que la anterior. Cuando son muy anchas las huellas se forman de dos tablas ensambladas á ranura y lengüeta: la union de éstas y las contrahuellas se hace de la misma manera, como se ve en las figs. 609, 610 y 613. A fin de mantener y consolidar estos ensamblajes, se ligan de cuando en cuando las zancas y falsas zancas por medio de pernos largos y delgados que se aprietan fuertemente á tuerca.

Las huellas presentan de ordinario una saliente sobre las contrahuellas de 4 á 5 centímetros, la cual se adorna inferiormente con una ó más molduras.

(a) Es sabido que las zancas pueden considerarse engendradas por el movimiento de un rectángulo vertical que sigue la direccion de la rampa de la escalera, ya sea recta ó curva. A veces se las adorna con molduras y el rectángulo aparece con la forma representada en la fig. 611.

Haciendo uso de peldaños llenos se labra su cara inferior, que forma el intradós de la escalera, de modo que resulte una superficie contínua inclinada, plana si el tramo es recto y alabeada si fuera curvo. Si en vez de llenos fueran huecos, puede quedar aparente el escalonado en la superficie de intradós; pero lo más frecuente es ocultarle, bien estableciendo un revestimiento de tablas, que se ensamblan entre sí y con la zanca y falsa zanca á ranura y lengüeta, ó bien, y esto es lo más usual, colocando un enlistonado *aa* (fig. 610), que se ensambla á las zancas y falsas zancas, y al cual se fija un enlatado, como se dijo al tratar de los techos.

El primer tramo, construido de la manera que acabamos de decir, se une generalmente por su extremo inferior á un peldaño de piedra (fig. 614) que se empotra en el suelo natural, al que de ordinario se dá más longitud que á los otros y tiene un extremo en forma de voluta. El extremo superior del tramo se fija en las piezas de madera que forman el rectángulo ó cuadrado del descanso. En los tramos superiores todos los peldaños son de madera, ensamblándose los extremos de las zancas en el marco que forma el suelo ó descanso en que superior é inferiormente termina cada uno.

336. **Barandillas.**—Para la seguridad del tránsito están limitadas lateralmente las escaleras de madera por los muros de caja, por el alma, ó bien por *barandillas*. Estas, que puedan ser de madera ó de hierro, constan en el primer caso de una série de montantes verticales, de $0,^{m}08$ de escuadria por $0,^{m}80$ de alto próximamente, los cuales se ensamblan á caja y espiga á las zancas (fig. 615) y se unen tambien del mismo modo sus extremos superiores, por medio de un *pasamano* cuya cara superior se redondea. En las construcciones toscas y resistentes se colocan á mayor distancia los montantes y se los enlaza con cruces de San Andrés; pero en las más esmeradas se tornea su parte central y aparecen como los balaustres de piedra.

Haciendo las barandillas de hierro se disponen de una manera muy sencilla remachando varios cuadradillos verticales á dos pletinas *ab* y *cd* (fig. 616): la segunda se clava sobre la zanca y ambas se doblan en sus extremos para clavarlas tambien á los montantes de madera *bd*, á los cuales se ensamblan las piezas que sostienen el descanso, cuando los tramos son

rectos, como se supone en la figura. Si fueran curvos, la barandilla sería contínua en toda la escalera. En obras más esmeradas y elegantes (fig. 617) se suele establecer una série de balaustres que se ensamblan sobre la zanca á caja y espiga, ó bien (fig. 618) se fijan lateralmente por medio de espigas ó roscas á piezas de metal que los sostienen (a). El pasamano es ordinariamente de madera fina, como caoba, palosanto, etc., y presenta una seccion redondeada (fig. 619): pueden unirse á él los balaustres por medio de espigas; pero lo más frecuente es que estén ligados con una pletina, como en la fig. 616, la cual presenta varios taladros por los que pasan tornillos que sujetan el pasamano. El primer balaustre es por lo regular mucho más fuerte, de distinta forma y más adornado que los demás.

337. **Diversas especies de escaleras.**—Solo hemos considerado hasta ahora las escaleras ordinarias de madera; pero existe una gran variedad en su forma, ya se consideren como un medio auxiliar de la construccion ó como una parte definitiva de la misma, pudiendo tener en casos dados una útil aplicacion.

338. **Escalas ó escaleras de mano.**—Estas son el tipo más sencillo de las escaleras, y se componen de dos montantes casi paralelos, unidos á distancias iguales por medio de fuertes listones ensamblados con los primeros á caja y espiga, que sirven de peldaños. Por lo regular se forman los montantes de piezas hendidas de pino, que reunen la resistencia á la ligereza, y los listones ó escalones son de encina, tambien hendida: las espigas de su union son aparentes y se acuñan por la parte exterior para dar más fijeza al ensamblaje, sin perjuicio de ligar los montantes por medio de pernos cada 3 ó 4 metros. Estos sirven á veces de escalones.

Muchas veces se forman escalas dobles, que se componen de dos escalas sencillas, como la que acabamos de describir, unidas á charnela por su parte más estrecha, que es la superior. Estas tienen la propiedad de sostenerse solas cuando se separan los piés, al paso que las ordinarias necesitan un punto fijo á cierta altura. Tambien se hace uso alguna vez, en lugar de escala, de un solo montante atravesado por listones ó á cuyas dos caras opuestas se clavan tacos que reemplazan á los escalones.

(a) Estos balaustres pueden ser más ó ménos ricos en adornos y se hacen generalmente de hierro fundido ó de laton torneado.

Otra escala casi tan sencilla como la ordinaria y que se emplea con mucha frecuencia en los trabajos de construccion, es la *rampa-escala* (fig. 620), compuesta de un fuerte tablon que se inclina lo conveniente para formar una rampa transitable. Para fijar los piés sin que resbalen se clavan á ciertas distancias listones prismáticos de base cuadrangular ó triangular.

339. **Escala de molinero.**—Se compone de dos tablones paralelos puestos de canto (fig. 621) con la inclinacion conveniente, que hacen las veces de zancas, y á los que se ensamblan otros horizontales, que forman las huellas. Este ensamblaje es de ordinario á caja y espiga aparente, unas veces sencilla y otras doble, y en algunos casos se practica además una ranura en la cara interior de las zancas de $1/3$ de su espesor, en la que encaja el tablon de huella: tambien se colocan alguna vez contrahuellas que se unen á las zancas como las huellas.

Se consolidan las uniones acuñando la cabeza de las espigas ó bien dejándolas salientes y atravesándolas con una cabilla, para que las zancas no puedan separarse. El mismo objeto se consigue tambien poniendo de cuando en cuando ligeros pernos que se colocan debajo de los tablones de huella.

Estas escalas tienen un empleo frecuente en los andamios de importancia y en los demas casos en que la comodidad de la comunicacion no sea absolutamente esencial, como sucede en las fábricas, molinos, almacenes, etc. Su ancho mínimo es de $0,^{m}50$.

340. **Escalera de repeticion.**—La fig. 622 representa una escalera de esta especie, en la cual se divide el ancho en dos partes formadas con peldaños iguales, pero de doble altura que los ordinarios: los de un lado se sitúan de modo que su arista saliente resulte á la mitad de la altura de los del otro lado. Para subir ó bajar esta escalera se mueve siempre en cada lado el mismo pié, conservando entre ambos la línea de separacion de unos peldaños con los contiguos.

En esta escalera se verifica la marcha con el mismo esfuerzo que en las ordinarias, porque en las últimas cada pié solo se apoya alternadamente en los peldaños, de modo que en dos posiciones sucesivas sube ó baja el doble de la contrahuella. Esto mismo sucede en las de repeticion; pero ocupando un espacio mucho menor. Para que puedan cruzarse las personas sin que tengan que abandonar su línea de huella, se compone esta es-

calera de tres partes, una central y dos laterales con la mitad de anchura.

Aunque menos usada que la de molinero, suele esta escalera reemplazarla con ventaja en algunos casos, cuando el espacio de que se puede disponer sea muy reducido.

341. **Observacion.**—Las escaleras de madera son muy usadas en la construccion, por la facilidad con que se ejecutan y la resistencia que proporcionan. Algunas veces se varían algo los materiales de que se componen, como cuando aparacen las huellas formadas en su mayor parte de embaldosado; pero siempre permanece la misma la disposicion de sus partes principales.

Varían tambien notablemente las combinaciones á que se prestan las formas esenciales que hemos descrito; pero son de poco empleo en las construcciones modernas. En todo caso pueden consultarse las obras que tratan especialmente este asunto, como las de Emy, Rondelet y otras.

ARTÍCULO III.

Escaleras de hierro.

342. **Generalidades.**—Desde que el hierro se ha empleado como material principal en ciertas partes importantes de las construcciones, ha sido natural su aplicacion á las escaleras. Asi ha sucedido en efecto, y teniendo en cuenta las cualidades del material, se obtienen escaleras, si no inalterables á la accion del fuego, incombustibles por lo ménos; mas ligeras que las de piedra y más sólidas que las de madera, pudiéndose unir, ajustar y adornar fácilmente las diversas partes de que se componen sin exigir un aumento apreciable de gasto.

Las primeras escaleras se construyeron de hierro fundido; pero teniendo en cuenta que en muchos casos tienen que resistir la accion de cargas considerables y choques accidentales, lo que ocasionaria una súbita rotura en este material, se le reserva en el dia para las escaleras ligeras que no estén expuestas á esta clase de efectos. En cambio el hierro forjado resiste perfectamente á tales acciones y su aplicacion se ha generalizado de una manera notable de algun tiempo á esta parte.

Examinemos las disposiciones que se adoptan con mas frecuencia en cada uno de estos casos.

343. **Escaleras de hierro fundido.**—Segun acabamos de decir, este material se aplica á escaleras de poca importancia, como las que se construyen en tiendas, almacenes, etc., para la mas rápida comunicacion de un piso á otro. Generalmente son de tramos curvos y presentan un ojo ó tienen un alma, segun los casos. Los peldaños llevan el trozo de zanca ó de alma correspondiente, y se ligan entre sí por medio de tornillos que atraviesan ciertos rebordes ó por medio de enchufes.

La simple inspeccion de las figs. 623 á 631 hará comprender fácilmente estas diversas disposiciones.

La fig. 623 es la planta de la escalera de ojo que vamos á detallar. La 624 hace ver la disposicion del estremo de los peldaños por el lado del ojo, representando *ab* la junta de dos peldaños contiguos. La 625 es una seccion vertical hecha en la mitad de los peldaños, en la cual aparecen los rebordes *cd* por cuyo medio se apoya un peldaño sobre otro y se fijan con tornillos y tuercas, siendo *f* el perfil de nervios ó refuerzos que consolidan las huellas: los rebordes podrian ser verticales y dar mas resistencia á la escalera. La fig. 626 es una seccion longitudinal de un peldaño segun la línea *ab* de la 625, en mayor escala; y la 627 una proyeccion vista desde abajo. Cada uno de estos peldaños pesa 48,80 kilógramos.

La fig. 628 representa la planta de una escalera de caracol de 2,^{m}24 de diámetro, en la que *a* es el alma hueca y *b* las piezas en que se apoyan los balaustres de la barandilla. La 629 es una seccion vertical por el centro de los tambores que forman el alma y hace ver la manera como se enchufan y se sujetan con cabillas. La fig. 630 es la proyeccion de un doble peldaño con su tambor (a) y la 631 representa la seccion en que se ve el ensamblaje de unos peldaños con otros por medio de tres tornillos *a*, asi como la manera de sostener los balaustres de la barandilla.

A fin de evitar que el frecuente rozamiento de los piés hiciera en poco tiempo resbaladiza la superficie de las huellas y pe-

(a) Cada parte componente de esta escalera comprende dos peldaños y el trozo correspondiente de alma.

ligroso el tránsito, se las dispone de modo que presenten estrias algo profundas en direccion normal á la que se sigue en la marcha.

344. **Escaleras de hierro forjado.**—Hoy dia se ha generalizado tanto la aplicacion del hierro forjado y laminado á las construcciones, que se ejecutan con este material escaleras hasta en los edificios de primera importancia. Las figs. 632 á 636 representan las proyecciones y detalles de una escalera de este género, ejecutada en la *Nouvel Opéra* de París.

La zanca es de palastro de 0,^{m}008 de grueso y está cortada superiormente en diente de sierra para recibir los peldaños, segun aparece en la fig. 632. Al principio y al fin de cada tramo se ensambla la zanca á fuertes viguetas que sostienen los descansos, cuyos extremos se empotran en los muros de caja: la disposicion de este ensamblaje se ve en las figs. 633, 634 y 635. Las huellas son por lo regular de roble y su grueso ordinario de 0,^{m}05 ó más, segun que la escalera tenga que experimentar fuertes cargas ó choques, como sucede en los teatros: cuando hay que darlas mas grueso (8 á 10 centímetros) se disimula el exceso de 0,^{m}05 tapándole con la contrahuella. Las huellas sobresalen de las contrahuellas de 4 á 5 centímetros y se terminan con alguna moldura, como aparece en la fig. 636. Las contrahuellas son de palastro de 0,^{m}005 de grueso y entran en una ranura que llevan las huellas superiores, fijándose á la zanca por medio de escuadras con tornillos y tuercas y á la caja con una cola de carpa, segun se ve en las figs. 634 y 635; ademas se refuerzan superiormente por medio de un hierro en ángulo.

El intradós de estas escaleras puede quedar aparente; pero lo mas usual es revestirle estableciendo una superficie continua, bien de yeso ó de madera, análogamente á lo que se dijo al tratar de los techos. Para esto, se clavan á las contrahuellas pequeñas placas de palastro ó de hierro terminando inferiormente en gancho, á los que se cuelgan cuadradillos de 0,^{m}01 de lado y sirven para sostener el forjado á que se aplica el enlucido inferior, conforme se ve en la fig. 637 (lamina 30). El peso total de la escalera descrita es de 45 kilógramos por peldaño.

Las figs. 638 á 640 representan otra escalera de menores dimensiones que la descrita, en la que una simple inspeccion da á

conocer con suficiente exactitud las disposiciones y los detalles de que se compone.

345. **Advertencia.**—No solo se generaliza en el dia el empleo del hierro forjado para la construccion de escaleras en edificios de mayor ó menor importancia, sino que se ha empleado con buen éxito hasta para formar escaleras de mano. De todos modos, este material llena por completo el objeto cuando se aplica á las escaleras, pues que esta es una de las partes de las construcciones en que hay mas necesidad de armonizar la conveniente resistencia con el menor volúmen y gasto posible.

ARTÍCULO IV.

Aparatos que reemplazan á las escaleras.

346. **Condiciones generales que deben llenar.**—En los edificios en que es grande el movimiento de las personas que suben y bajan, como tiene lugar en muchos hoteles importantes y otros establecimientos análogos del extranjero, se han establecido aparatos en los que no solamente las personas sino hasta sus equipajes pueden llegar al piso que desean sin el menor cansancio. Estos aparatos, llamados *elevadores*, consisten en una simple plataforma, ó lo que es mas frecuente, en una gran caja formando habitacion, provista de cómodos asientos, espejos y alumbrada con gas por la noche, que recorre verticalmente el espacio prismático formado por la caja de la escalera: esta presenta en una de sus paredes una abertura en cada piso para poder entrar directamente en él desde el elevador y en la pared opuesta las ventanas necesarias á fin de dar paso á la luz.

Muchas son las disposiciones adoptadas y varios los motores empleados á fin de llenar este objeto; pero siempre se ha tratado de conseguir que la marcha se verifique con toda regularidad, que el movimiento tenga la rapidez conveniente, que no haya fuertes choques en las paradas, y sobre todo que la seguridad sea completa é independiente de la rotura de alguna de las partes del aparato.

Para poder apreciar la composicion y las precauciones adoptadas en el establecimiento de los elevadores, describiremos sucintamente el sistema adoptado por Mr. Otis, de Nueva-York,

que se emplea con frecuencia en aquella poblacion y es uno de los mas perfeccionados.

347. **Elevadores.**—En esta clase de aparatos (figs. 641 y 642) el motor que más se usa es una máquina de vapor *lmn* que puede hacer girar en uno ó en otro sentido al tambor *mm* y además pone en movimiento un freno *pp*, dispuesto de modo que solo actúa cuando se ha de parar la marcha de la caja, que se mueve con una velocidad variable á voluntad, de 0,^{m}25 á 0,^{m}75 por segundo. Además la máquina solo da un número determinado de revoluciones en cada direccion, de suerte que cuando la caja ha llegado al punto mas alto ó mas bajo de su escursion, la misma máquina la detiene ó hace cambiar el sentido de su movimiento. Una cuerda de alambre de hierro ó de acero *b*, arrollada al tambor *m*, sube verticalmente y pasa por la polea *s* para bajar despues y coger la caja por su parte superior. Esta se hace de madera dura y hierro forjado, de modo que presente la mayor resistencia con el menor peso, y tiene en dos lados opuestos cuatro ruedecillas de friccion *ee*, que actúan sobre dos guias de hierro *d*, fijas en las paredes. La máquina de vapor tiene señales que indican con exactitud cuando llega la caja á un piso dado para fijarla en aquella altura.

Los aparatos de seguridad en la marcha, asi ascendente como descendente, son varios y actúan desde luego en el momento en que tiene lugar cualquier rotura de las partes principales, que son las que hemos descrito. Las guias de hierro *d* forman cremallera en su parte central, y una fuerte palanca acodada de hierro con un resorte de acero se sitúa en el punto de suspension de la caja á la cuerda motriz. Si por la rotura de esta cuerda no ejerciera accion sobre el brazo horizontal de la palanca, el resorte moveria el vertical hasta que su extremo entrase en la cremallera y únicamente permitiria caer la caja en una altura de 0,^{m}076. Estas palancas de seguridad son dobles y cada una puede sostener perfectamente el peso de la caja cargada.

Con el fin de alcanzar otro medio de seguridad independiente del anterior se ha hecho que el eje de la polea *s* pueda moverse verticalmente entre dos guias de hierro *t*, el cual se une por medio de la cadena *u* á la palanca *v* de un freno, segun aparece en la fig. 643, que es la proyeccion horizontal de la parte superior del aparato. Mientras la cuerda *b* sostiene el peso de

la caja, la polea *s* estará en su punto mas bajo y la palanca *v* no actuará sobre el freno *x* que rodea á la corona *r* unida invariablemente al tambor *o*; pero si sucediera lo contrario subiria la polea por la accion del peso *v* y actuando al instante el freno pararia el movimiento de la caja. Además el tambor de seguridad *o* lleva arrollada otra cuerda análoga á la *b* con un gran contrapeso *z* que equilibra la mayor parte del peso de la caja. El otro freno que actúa en la corona situada al extremo opuesto del tambor se pone en accion por medio de un regulador *a* cuando la velocidad de la marcha es mayor que la admitida en el aparato.

El tambor de seguridad es el medio por el cual se comunica el movimiento desde la máquina á la caja. Todas las cuerdas que ligan á estas dos últimas partes están dispuestas de modo que actúen sobre el tambor, de suerte que ya sea por cualquier desarreglo ó cambio en su accion, ya por un aumento de velocidad mas allá de la prescrita y normal, hace inmediatamente actuar los dos enérgicos frenos *xx* y detiene al instante el aparato.

348. **Observacion.**—A más del elevador descrito hay otros de diversos sistemas que tienen frecuente aplicacion en las principales poblaciones de los Estados-Unidos, Inglaterra y otros paises, y sirven tambien como aparatos industriales para la elevacion de los minerales por pozos estrechos, y en otros casos de condiciones parecidas. Cuando estos aparatos se destinan al movimiento de las personas no se necesitan por lo regular más que dos operarios para su buena marcha, uno encargado de la máquina de vapor, que está situada por bajo del terreno natural, y el otro que vigila la marcha de la caja y el estado de las guias, tambor, etc. etc.

CAPÍTULO VII.

Obras accesorias.

349. **Su carácter y objeto.**—Lo que hasta aqui llevamos expuesto es sin duda alguna la parte esencial de las construcciones consideradas en su conjunto; pero existen otras que no por su menor importancia dejan de ser absolutamente necesarias

para que una edificacion llene por completo su objeto. Entre éstas, las más importantes por el destino que desempeñan son los empedrados y enlosados que cubren el suelo natural, ya en la parte cubierta por la edificacion, ya en los patios ó avenidas que pueda tener.

El maderámen que cierra á voluntad las aberturas y que se conoce generalmente con el nombre de puertas y ventanas, es otra parte interesante de las obras accesorias, asi como los herrajes destinados á sostener y permitir el movimiento de unas y otras. Otro tanto puede decirse de las piezas de hierro que tienen por objeto fijar su posicion é impedir que pueda alterarse desde el exterior por cualquier persona.

Por último, las verjas que limitan el espacio perteneciente á una construccion; los para-rayos que sirven para preservarla de la accion eléctrica de la atmósfera, y otras obras de distinto género, son de bastante importancia, por más que tengan el carácter de accesorias, para que entremos aqui en su exámen, considerándolas bajo un punto de vista general.

ARTÍCULO I.

Empedrados y enlosados.

350. **Condiciones que deben llenar.**—Fuera de circunstancias excepcionales, el terreno natural no es á propósito para resistir el tránsito que por regla general se verifica en las inmediaciones y en el interior de una construccion y ménos aun para contrarestar el efecto de los vehículos más ó ménos cargados que sobre él tienen que marchar. Es preciso por lo tanto establecer una superficie artificial que llene, en cuanto sea posible, las condiciones de ser inalterable á las influencias atmosféricas, elástica y dura, para que no se ocasionen fuertes choques en los carruajes que la recorran ni se destruya con facilidad. Estas, unidas á la condicion de que cuando hayan de pasar carruajes se produzca algun ruido á fin de evitar atropellos, son las cualidades principales que debe llenar la superficie de que hablamos, haciendo preponderantes unas ú otras, segun sean las condiciones y circunstancias de cada caso de aplicacion.

La superficie de los empedrados presenta en general una for-

ma convexa, como se observa en las carreteras, calles, etc., á fin de que el agua llovediza pase en el primer caso á las cunetas ó los taludes y en el segundo al escalon formado por la acera y el empedrado, que la conduce á los puntos de salida por medio de pozos de bajada que desembocan en alcantarillas inferiores.

Los principales sistemas de empedrados que en el dia se usan, son: el de cuñas; de adoquines; de madera; de asfalto; de piedra partida ó afirmados; de losas, y mistos, de cuyo exámen y sistema de construccion pasamos á ocuparnos.

351. **Empedrados de cuñas.**—La primera condicion que debe llenar todo empedrado para que sea sólido y duradero es la de insistir sobre un terreno bien seco y presentar una superficie bastante curva ó inclinada, para que las aguas de lluvia tengan una fácil y rápida salida. Las cuñas que más se emplean son trozos de rocas cuarzosas que afectan la forma de pirámides truncadas de unos $0,^{m}20$ de altura, cuyas bases cuadradas tienen por lo regular de lado $0,^{m}14$ unas y $0,^{m}12$ otras.

Para ejecutar este empedrado se empieza por abrir la caja en que se ha de establecer, cuidando de darla el perfil trasversal que deba afectar y la rasante que deba tener. Hecho ésto, y consolidada la caja por medio de un apisonado, si fuera necesario, se extiende una capa de arena silícea, de grano grueso é igual, que esté bien limpia de tierra y tenga un espesor de $0,^{m}12$ á $0,^{m}14$: sobre esta capa, humedecida y bien apisonada por tongadas, se extiende otra sin apisonar, de 6 á 8 centímetros de grueso. En los puntos bajos de los costados, llamados *arroyos, ab, a'b'* (fig. 644) se extiende en lugar de la capa primera de arena una de hormigon y en vez de la segunda otra de mortero ordinario.

Preparado de este modo el suelo de la calle por zonas de pequeña longitud, se procede á sentar las cuñas, colocando debajo su base más pequeña y situándolas por hiladas perpendiculares á la direccion de la vía. Para sentar una cuña se practica con la pala del martillo en la segunda capa de arena un alvéolo, en el que entra la base ó raiz de aquella, y despues se golpea ligeramente con el mismo útil y se rellena el claro que pueda quedar entre una cuña y la contigua, comprimiendo lateralmente la arena de la capa superior: las mismas operaciones se hacen en los arroyos. Debe cuidarse de que las juntas paralelas

á la longitud de la vía estén interrumpidas, á fin de que no se degrade con facilidad el empedrado, el cual deberá resultar de de 3 á 4 centímetros más alto que el perfil definitivo en el centro de la calle y de 1 á 1,5 en los arroyos. La separacion que conviene dejar de una cuña á otra es de un centímetro próximamente.

Construida una zona del empedrado se le apisona primero ligeramente, para asegurar el asiento, y despues con más fuerza, rellenando las juntas con arena ó mortero suelto, segun sea la base. Luego se extiende una capa general de arena de uno ó dos centímetros de grueso, sobre la cual tiene lugar desde luego el tránsito (a).

352. **Empedrado de adoquines.**—El material que en este sistema se emplea, llamado *adoquin*, consiste en un paralelepípedo cuyas dimensiones ordinarias son $0,^{m}28 \times 0,^{m}28 \times 0,^{m}14$, formado de una piedra dura y resistente, como es el granito de Guadarrama que se usa en el empedrado de Madrid. Su labra, aunque hecha á pico, debe ser bastante esmerada para que puesto en obra no resulten juntas con un ancho que exceda de 10 á 15 milímetros.

El sistema de construccion más frecuente en estos empedrados se reduce, como en el caso anterior, á abrir una caja de la profundidad y forma convenientes, sobre la cual se extiende una tongada ó cama de arena de $0,^{m}20$ á $0,^{m}25$ de grueso, bien preparada, que sirve de base al adoquinado. Despues se van asentando los adoquines de modo que sus aristas menores sean paralelas al eje de la calle ó via de que se trata y disponiendo las juntas paralelas á dicho eje interrumpidas, y las trasversales contínuas. En los arroyos se suele cimentar este empedrado con adoquines de desecho puestos de plano y unidos con mortero, sobre los cuales y con intermedio de la arena se colocan los superiores, cuyas juntas se cogen con mortero fino y suelto. Las juntas de la parte central se rellenan con arena, procediendo en seguida al apisonado por zonas que abracen todo el ancho de

---

(a) Cuando en estos empedrados hay necesidad de emplear materiales de distinta resistencia, siempre deberá evitarse que se encuentren mezclados en la obra, pues que los ménos duros se destruirian en poco tiempo. En tal caso es preferible construir zonas enteras con cada clase de material, colocando el más duro en las partes que más deban resistir.

la vía, á cuyo fin se hace uso de pisones que tienen unos 35 kilógramos de peso.

Las juntas trasversales contínuas impiden el resbalamiento de las caballerías durante el tránsito, pero hay necesidad de modificar esta posicion en la zona en que una calle se encuentra cruzada por otra, segun aparece en la fig. 645. De este modo cuando se sigue una direccion rectilínea como la AB ó la CD no se encuentran las juntas contínuas normalmente al movimiento, aunque sí con bastante oblicuidad para que no le entorpezcan; pero si desde A se cambia de direccion pasando á C, por ejemplo, dichas juntas se presentan en la posicion más ventajosa para este caso, que es el ménos favorable.

Aunque en muchas poblaciones se ha modificado algo el sistema de ejecucion que hemos descrito, asi como el grueso de los adoquines para proporcionar mayor seguridad al movimiento, esto no altera la parte fundamental de estas construcciones.

353. **Empedrados diversos.**—Varias son las alteraciones que se han introducido en el empedrado de cuñas, segun sea la forma y el volúmen del material de que se haga uso, por más que el sistema de construccion sea siempre el mismo. Entre estas la más generalizada es el empedrado de *cantos rodados*, muy en voga en muchas poblaciones del Mediodía de nuestro país, á causa de su buen aspecto y económica ejecucion.

Para construirle se empieza por extender, sobre la caja abierta en el suelo y bien apisonada, una capa de arena de 15 á 20 centímetros de espesor, afectando superiormente la forma con que debe resultar el empedrado. Despues se van colocando los cantos por filas transversales á la calle, de modo que su mayor longitud aparente resulte en la direccion de la fila y disponiendo alternadamente las juntas en las diversas filas. Este empedrado se consolida apisonándole como de ordinario, cuidando antes de extender encima una delgada capa de arena que se introduce en los huecos que resulten entre los cantos: antes de proceder al apisonado y á fin de que produzca todo el efecto conveniente se debe regar el empedrado y la capa de arena que le recubre.

Cuando se emplea este sistema en partes cubiertas por la edificacion ó en patios y demás accesorios se dá á los cantos diversas direcciones, pudiéndose formar dibujos variados y ador-

nos de más ó ménos gusto, empleando cantos de pequeñas dimensiones y de distintos colores.

El límite inferior en la magnitud de los cantos constituye un verdadero mosáico, que si se ejecuta con material cortado al objeto y presentando plana su cara superior, proporciona un pavimento cómodo y resistente, muy á propósito para las aceras de las calles. De esta manera está empedrada la parte central de la plaza de Don Pedro, en Lisboa, que ocupa un área rectangular de 8500 metros, formando dibujos como aparece en la figura 646, construido con trozos de caliza blanca y negra de 2 á 5 centímetros de dimension máxima.

354. **Enmaderados.**—El empleo de la madera en la construccion de los empedrados es muy frecuente, sobre todo en el Norte de Europa, pues que poseen la ventaja de presentar mucha elasticidad, facilitar el tránsito, producir poco ruido y conservarse limpios; si bien resultan algo costosos en su construccion y conservacion, resbaladizos en algunos casos, y además perjudiciales las emanaciones que en parages poco ventilados ocasionan las alternativas de humedad y sequedad, principalmente en los países cálidos.

El método ordinario de construccion, muy parecido al adoquinado, consiste en colocar tarugos de 10 á 18 centímetros de altura unos al lado de otros. La madera más empleada es el pino, en forma de prisma exagonal ú octogonal, y presentando verticales sus fibras. A fin de que el peso que actúa sobre un tarugo no se trasmita íntegro á la capa de arena inferior, se disponen oblícuos los primeros, como se ve en la figura 647 ó se les da la forma de la 648, que es más eficaz y enlaza todos los tarugos de cada hilada. Esto no obstante, se ha tratado de evitar que resulte una superficie resbaladiza, y con este objeto se han dejado entre los tarugos espacios de unos 2 centímetros que se rellenan con cemento ó mortero, segun aparece en la figura 649.

Un nuevo sistema, que parece reunir las ventajas de los dos últimamente descritos, y que ha dado bastante buenos resultados en los Estados Unidos, Lóndres y otros puntos, consiste en establecer sobre una capa de hormigon ó de piedra partida, tablones de 2 centímetros de grueso, sumergidos préviamente en brea y colocados á través de la vía: sobre esta capa de tablones

se forma otra semejante que la cruza, y encima se ponen tarugos de 23 centímetros de largo, 7,6 de ancho y 15 de altura. Un largo liston de madera de 2 centímetros de escuadría se clava al pié de los tarugos y á la capa de tablones, de modo que separa á los primeros por filas que dejan dicho intervalo. Estos se llenan con grava, que se apisona, vertiendo despues encima brea líquida que llene los huecos. De esta manera la presion se distribuye en el entablonado; pero este es un inconveniente cuando hay que abrir zanjas para las reparaciones de los tubos de agua, de gas, etc.

355. **Empedrados asfálticos ó bituminosos.**—Hasta hace pocos años no habian dado resultados satisfactorios los ensayos que se habian hecho con materias asfálticas para este objeto, á causa probablemente de la proporcion de brea líquida que se mezclaba con dichas materias, lo que producia reblandecimientos en las épocas de calor, y tambien por falta de esmero en la mano de obra. En el dia se obtienen buenos resultados con este material, despues de cambiar el sistema de ejecucion de los empedrados que con él se construyen, segun se ha observado en París, Lóndres y otras grandes poblaciones, en donde tiene lugar un gran tránsito en las vías públicas.

Los asfaltos que más se han empleado son los de Val de Travers, de Seyssel y de Limmer, y pueden presentarse, ó comprimidos, esto es, reducida á polvo la roca natural, ó formando un mastic asfáltico, que se obtiene mezclando el asfalto con brea mineral y grava fina.

Para la construccion de este empedrado, que más bien constituye en este caso un afirmado, se ha adoptado en Lóndres en las vías de mayor tráfico el establecimiento de una capa de hormigon de 15 á 23 centímetros de espesor, que insiste sobre la caja abierta en el suelo y convenientemente preparada: cuando el tráfico es menor, solo tiene de grueso el hormigon 13 centímetros. Sobre esta capa se extiende el asfalto, que si está en polvo se calienta primero en una caldera y despues de colocado se le comprime con hierros calientes hasta que forme una masa homogénea, y si se encuentra en forma de mastic se le calienta tambien hasta que forme pasta, en cuyo estado se le pone en obra. Una vez puesto el asfalto, conviene comprimirle con rodillos de hierro ó con pisones ligeros, y debe quedar con

un grueso de 55 milímetros para un gran tráfico y de 35 á 50 para uno ordinario. En las aceras el grueso del hormigon es de 7 á 10 centímetros y el del asfalto de 12 milímetros.

Estos asfaltados tienen la ventaja de presentar una superficie bastante igual, que facilita la traccion, sin ser más resbaladiza que la piedra; ocasionan ménos ruido que los empedrados ordinarios, y producen poco polvo y barro (a). Cuando la inclinacion de la vía excede de 1,7 por 100 se dificulta la traccion, y si es necesario fijar alguna rueda de los carruajes, se destruye el asfalto, razones por las que no se emplea cuando es mayor la pendiente. No conviene construir ni reparar estos firmes en la época en que haya heladas.

356. **Afirmados.**—Aunque este empedrado especial tenga su principal aplicacion á las carreteras y demás vías ordinarias de comunicacion, por cuyo motivo se estudiará en detalle en la clase respectiva, daremos aquí sin embargo una sucinta descripcion de la manera de construirle, á causa de su frecuente empleo en las calles de las poblaciones.

La ejecucion del afirmado se verifica empezando por abrir en el suelo natural una caja de forma conveniente, cuya profundidad varía de 0,^{m}20 á 0,^{m}30, segun los materiales que se empleen. En esta caja, bien apisonada y saneada, como se dijo al tratar de los empedrados de cuñas y siguientes, se extiende una capa de 10 á 15 centímetros de espesor, de piedra partida. Esta suele tener de arista máxima de 5 á 7 centímetros y no debe contener tierras ni otras materias extrañas, formando sobre la caja una capa de igual espesor, la cual se comprime ordinariamente con un *cilindro compresor*, compuesto de un cilindro hueco de hierro de 1,^{m}20 de altura por otro tanto de diámetro próximamente, que se hace rodar por medio de caballerías y se puede cargar de suerte que su peso varíe de 3 á 8 toneladas, vertiendo arena ó piedra en cajas que tiene para este objeto. Hecho ésto, se extiende otra capa casi del mismo grueso formada con piedra cuya máxima arista sea de 3 á 5 centímetros, que tambien se comprime, y por último se coloca

---

(a) El coste que tiene en Lóndres este empedrado cuando el grueso del hormigon es de 15 centímetros y de 5 el asfalto, varía de 19,4 á 27 pesetas por metro superficial.

la capa superior compuesta de arena de grano regular ó grueso que puede contener alguna tierra y que despues de comprimida forma la superficie sobre que tiene lugar el tráfico.

No es inconveniente que en las capas de piedra las haya de distinta dureza, sino que, por el contrario, en tal caso las más duras se incrustan en las más blandas que sirven como ligazon ó cemento á las primeras, siempre que su volúmen no exceda de $1/_3$ á $1/_5$ de aquellas. Cuando se extiende la primera capa deberá encontrarse perfectamente seca la caja sobre que insiste, pero al contrario, es ventajoso que el tiempo esté húmedo ó convendrá regar la superficie al extender las otras dos, á fin de que se unan ó traben bien los materiales. Tambien se deberán reservar las piedras más duras para la segunda capa, aunque las de la primera sean mucho ménos resistentes.

La seccion trasversal de estos afirmados afecta en la superficie y en el fondo de la caja la forma de un arco de círculo cuya flecha es por lo regular $1/_{50}$ ó $1/_{60}$ de la cuerda.

357. **Empedrados mistos.**—Reciben este nombre los formados por dos ó más sistemas de los descritos antes, componiéndose de muy distintas maneras, segun sean las condiciones de la localidad ó el objeto que se desea obtener para conseguir la comodidad y seguridad del tránsito, á cuyas condiciones debe agregarse la mayor duracion de la obra y la conveniente economía en su establecimiento.

Entre los varios sistemas ensayados consiste uno en formar cuadrículas de 2 á 3 metros de lado con cintas de adoquines, cuyo ancho sea el grueso de éstos, y rellenar los intervalos con empedrados de cuñas. Las cintas se colocan en direccion trasversal y longitudinal de la vía, y sirven para sujetar la posicion de las cuñas interiores. Este empedrado tiene el grave inconveniente de que el tránsito ocasiona al poco tiempo asientos desiguales quedando en resalto los adoquines; y ésto, á más de ocasionar molestia en la circulacion, no permite la fácil salida del agua, lo que es sumamente perjudicial para la conservacion de la obra.

Otro sistema de mejores resultados se reduce á establecer en el centro de la calle un acuñado, afirmado, ú otra superficie conveniente para la circulacion, y en formar en los arroyos, en un ancho que generalmente es $1/_4$ del de la calle, pero que

siempre debe ser lo bastante para que pueda recorrerle un carruaje, un adoquinado construido de la manera ordinaria. Una vez ejecutadas las dos fajas laterales y dejando en sus extremos interiores partes salientes y entrantes, que hacen el papel de las adarajas en los muros, se construye la zona central, ligándola bien con las precedentes. Este empedrado tiene la ventaja, sobre todo en las calles que presentan mucha inclinacion, de proporcionar zonas en las cuales se pueden verificar los arrastres con más ó ménos facilidad y de un modo más ó ménos seguro, segun sea la inclinacion de la vía, su estado de humedad y la fuerza del motor. Tiene tambien la propiedad de conservarse mejor que el anterior, sin presentar los resaltos que ocasionaban las cintas longitudinales y trasversales.

En varias grandes poblaciones se ha optado por establecer un carril en direccion del eje de la vía ó calle, el cual se compone de dos filas paralelas de losas ó grandes adoquines, dejando entre los ejes de las filas el ancho que ordinariamente ocupan las ruedas de un carruaje. El ancho comprendido por ambas cintas se suele empedrar á la manera usual con adoquines estrechos y por este medio se proporciona más seguridad para el tiro á las caballerías y se disminuye el rozamiento de las ruedas. Sin embargo, cuando las caballerías van pareadas y pisan las cintas se resbalan con facilidad, por cuyo motivo no es conveniente su empleo sino en calles que presenten poca inclinacion.

Aun cuando se pueden hacer otras combinaciones de los empedrados antes descritos, estas son las que más se han empleado para formar los mistos que tienen más uso y no creemos por lo tanto necesario entrar aquí en la descripcion de los demás.

358. **Enlosados.**—Las zonas laterales de las calles que se destinan al tránsito de las personas á pié y que reciben el nombre de *aceras*, presentan sobre los arroyos del empedrado una altura variable de 5 á 10 centímetros y terminan en una superficie plana con una pequeña inclinacion hácia los arroyos, á fin de que el agua que cae de los edificios contiguos tenga una fácil salida y no perjudique sus cimientos ni haga molesto el tránsito público.

El ancho de las aceras es dependiente del de la calle, y su relacion con el del empedrado varía con el movimiento de car-

ruajes y personas á pié que la recorren; pero de todos modos es conveniente que puedan cruzarse en aquellas al ménos dos personas. Su construccion se verifica comenzando por formar contiguo al empedrado una cinta de losetas *d* (fig. 644) puestas de canto, que constituyen el escalon de que hemos hablado; sirven de maestras al resto de la acera é impiden que los carruajes puedan invadirla. Esta se forma con losas de 10 á 15 centímetros de grueso, sentadas y acuñadas sobre una capa de mortero de 3 á 5 centímetros de espesor que se extiende sobre la caja abierta en el suelo. El fondo de esta caja deberá consolidarse con el apisonado, y en ocasiones se vierte sobre ella una capa de hormigon de unos 10 centímetros, colocando encima el mortero y las losas, como se acaba de decir. Las juntas, que deben ser muy finas en la superficie, es conveniente cogerlas con cal hidraúlica.

Cuando el material es de buena calidad, como sucede con las losas graníticas empleadas en Madrid, la acera llena por completo su objeto; pero haciendo uso de materiales calizos se pulimentan con el tránsito al poco tiempo y le hacen molesto y peligroso. En este caso es preferible adoptar un empedrado de mosáico, como los que se usan en Lisboa, ó uno asfáltico, segun se ha indicado en el núm. 355.

359. **Observacion.**—Los empedrados tienen una gran semejanza en la forma y objeto con los pavimentos de que nos ocupamos al tratar de los suelos; así es que tambien se construyen los primeros unas veces con ladrillos puestos de plano y formando varias capas sobrepuestas con las juntas cruzadas, y otras con el mismo material puesto de canto.

Las herramientas empleadas en estos trabajos son tambien parecidas á las que ya hemos descrito para otros análogos, siendo las principales un martillo con paleta para escavar la arena y golpear las cuñas ó adoquines; un pison de 25 á 30 kilógramos de peso; niveletas para la fijacion de las rasantes y picos y zapapicos para desempedrar y preparar la caja.

El empedrado de adoquines de granito duro es por regla general preferible al de cuñas para las vías de mucho tránsito. Los enmaderados no suelen tener buen éxito en los paises meridionales, y los asfaltos exigen mucho esmero en la eleccion de los materiales y mano de obra para que den resultados sa-

tisfactorios. Los afirmados se emplean con preferencia, á causa de su economía, en las vías y paseos públicos ó en anchas calles poco frecuentadas. Los mistos, por último, son de uso conveniente cuando se combinan de una manera acertada los diversos materiales de que se componen.

ARTÍCULO II.

Puertas y ventanas.

Las aberturas practicadas en los muros de edificacion pueden abrirse ó cerrarse á voluntad por medio de construcciones accesorias, generalmente de madera, y alguna vez de hierro, que segun su objeto y formas reciben los nombres de *puertas*, *ventanas*, *persianas*, etc. Tambien se emplea el primer material para otras partes de menor importancia, de las que despues nos ocuparemos, y pertenecen, como las anteriores, á la carpintería de taller ó á la ebanistería.

360. **Puertas: diversas especies.**—Bajo el punto de vista de su objeto, pueden dividirse en *grandes puertas*, como las de entrada en las poblaciones, las cocheras de los edificios, etc.; en *puertas de entrada*, que son de ordinario las que se encuentran en las fachadas de las edificaciones y sirven para dar ingreso á ellas; y en *puertas interiores*, que tienen por objeto abrir ó cerrar la comunicacion entre habitaciones contíguas.

Cada una de estas especies suele ejecutarse con más ó ménos esmero, segun sea su importancia y la del edificio ó construccion de que forman parte, y en este concepto se podria haber adoptado otra division. De todos modos, y prescindiendo de detalles secundarios, las puertas pueden además clasificarse en *de una ó de dos hojas*, segun se cierre la abertura con uno solo ó con dos tableros, como veremos á continuacion.

361. **Grandes puertas.**—Por regla general se componen de un bastidor formado de dos *largueros* *a* y *b* (fig. 650, lám. 31) ensamblados á dos *cábios* *c* y *d*, uno superior y otro inferior, y cuando lo exije la altura se apela al empleo de uno ó más *peinazos* *e*: las ensambladuras se hacen á caja y espiga sencilla ó doble, segun se ve en mayor escala en la fig. 651 (lám. 30).

Cuando las dimensiones de la puerta son grandes, esto es, cuando pasa de 2 metros de ancho, y la altura correspondiente de vez y media á dos veces esta dimension, se refuerza el bastidor con una ó más tornapuntas, como la indicada de trazos en la primera figura, de modo que sus extremos inferiores vengan á apoyarse en el larguero al rededor del cual gira. Á veces, y con objeto de impedir toda deformacion en el bastidor, se coloca desde el vértice *h* al *k* un tirante de hierro que atraviesa los peinazos y tornapuntas y que se templa formándole de dos trozos, uno terminado en estribo con un taladro, y el otro en rosca que le atraviesa, apretándole con una tuerca.

Sobre una de las caras de este bastidor, que despues ha de formar el exterior de la puerta, se colocan tablas ó tablones que se unen entre sí á ranura y lengüeta, y se clavan á las piezas del bastidor con clavos cuya longitud sea al ménos doble que el grueso del entablonado; no obstante de que en muchos casos es bastante mayor, y despues de atravesar las piezas del bastidor se los remacha por la punta. Á veces se reemplazan los clavos con cabillas de madera que atraviesan el bastidor y el entablonado, y se sujetan hendiéndolas por sus cabezas y acuñándolas. Las cabezas de los clavos y cabillas pueden quedar en el paramento del entablonado, ó se embuten en él, llenando el hueco que resulta con un trozo de la misma madera; así se obtiene oculta la union y es más esmerada la mano de obra. La posicion de las tablas es de ordinario vertical; pero si se quiere que contribuyan á reforzar el bastidor é impedir que se deforme por el peso de la puerta, se las coloca paralelamente á las tornapuntas, viéndose ambas disposiciones en las figs. 652 y 653 (lám. 31).

En algunos casos se modifica la construccion anterior y resulta más esmerada, formando en la cara exterior del bastidor, y segun su contorno, un rebajo donde terminan las tablas: la profundidad del rebajo es la conveniente para que el exterior de las tablas enrase con la parte vista de los largueros y cábios. Se debe en todos los casos chaflanar las aristas vivas interiores del bastidor, á fin de proporcionar mejor aspecto é impedir que se degraden.

Las piezas que componen el bastidor de estas grandes puertas deben tener un grueso dependiente de su altura, y se las

suele dar 0,^{m}025 de espesor por cada metro de aquella dimension; el ancho de cada una, aunque variable, está comprendido entre vez y media y dos veces el grueso. El espesor del revestido es de 0,^{m}04, 0,^{m}06 ó 0,^{m}08, segun los casos, y se forma si es necesario de dos ó más capas de tablas con las juntas cruzadas y clavadas unas encima de otras. Algunas veces terminan superiormente estas puertas en medio punto, pero su construccion es siempre la misma, formándose el bastidor con piezas curvas, ensambladas entre sí y con los largueros como se ve en las figuras últimamente citadas.

La construccion que acabamos de describir puede aplicarse á las demás puertas, así como las que examinaremos despues á las que estamos considerando; pero en cada caso se adopta con preferencia la disposicion más apropiada á las dimensiones y objeto que desempeñan, segun las describimos.

362. **Puertas de enrasado.**—En las grandes puertas se hace uso tambien del *enrasado*, que consiste en practicar ranuras en las caras de espesor de las piezas horizontales y verticales que forman el bastidor y encajar en ellas las lengüetas de las tablas del revestido (fig. 654). Unas y otras deben enrasar en el paramento; así es que todas las piezas que forman el bastidor tienen el mismo grueso, excepto las tornapuntas, si las hubiera, que serán más delgadas que las demás en el grueso de las tablas.

El enrasado puede ser *fino* como el que acabamos de describir, ú *ordinario*, que tiene lugar cuando solo se hacen los rebajos del bastidor en las piezas del contorno, caso de que ya nos hemos ocupado en el número anterior, y que aparece en la figura 652. El primero se hace unas veces *á una cara* y otras *á dos*, resultando en la última disposicion contínua la superficie de la puerta por ambas haces ó caras.

363. **Puertas de entrada.**—Aunque es muy frecuente en estas puertas hacer uso del enrasado, solo se emplea por lo regular en su parte inferior, disponiendo la superior de suerte que las piezas del bastidor, no tan solo queden aparentes, sino salientes respecto á las tablas que forman el revestido: cuando se ejecutan de la última manera, reciben el nombre, de *puertas de cuarterones*.

Las figs. 655 y 656, lám. 30, representan la proyeccion y seccion verticales de una puerta de entrada de pequeñas dimensio-

nes: debe advertirse que el dintel *ab* y la parte superior al mismo, se fija y puede cubrirse con un cristal, á fin de dar luz al interior. La fig. 657 hace ver en planta y en escala doble la jamba y parte de la puerta, así como las 658 á 660 señalan respectivamente la seccion por la parte superior de la abertura, segun la línea *cd* de la 655 y la proyeccion del plinto *ef* en escala tambien doble.

La construccion de estas puertas se verifica practicando ranuras en las caras de espesor de los largueros, cábios y peinazos y llenando los huecos que dejan con pequeños tableros que entran á lengüeta en las ranuras. Las aristas de las piezas del bastidor se adornan unas veces con molduras que se forman en la misma pieza y otras se dejan vivas y se clavan alrededor de los tableros listones más ó ménos adornados, que cubren la union de aquellos con las piezas del bastidor, segun aparece en seccion horizontal y vertical en las figs. 657 y 659. Estas puertas, que en general se construyen con esmero y maderas finas, son susceptibles de presentar cuarterones más ó ménos numerosos y adornos muy variados, sin que esto afecte su sistema de construccion.

Las dimensiones de las partes que componen estas puertas son muy variables, aunque pueden verse las del ejemplo que hemos tomado en las figuras correspondientes.

364. **Puertas interiores.**—El sistema de construccion más generalmente adoptado en estas puertas es el de cuarterones, cuidando de labrar los tableros y adornar las aristas de las piezas del bastidor por ambas caras ó haces, en armonía con la importancia de la habitacion en que se encuentran. Algunas veces, como en las de entrada, se hace de enrasado el tercio ó cuarto inferior; pero debe suprimirse cuando las dimensiones de la puerta son pequeñas ó se quiere que revele cierta riqueza.

Por lo regular tienen de 1 metro á 1,^{m}30 de ancho por 2 de altura, dándose 25 milímetros de grueso á los tableros, y de 4 á 5 por 10 á 12 centímetros de escuadría á las piezas que forman el bastidor.

365. **Puertas de barrotes.**—En las construcciones rurales y poco esmeradas se adopta un sistema de puertas muy sencillo, que consiste en formar un tablero con tablas que se en-

samblan entre sí á ranura y lengüeta ó á junta plana (fig. 661, lámina 31), al cual se clavan barrotes trasversales *a*, que distan unos de otros de 0,^{m}50 á 0,^{m}80, y sirven de refuerzo al conjunto. No es necesario entrar aquí en más detalles despues de los dados en los casos anteriores.

366. **Puertas vidrieras.**—Si en lugar de llenar con tableros los intervalos que dejan las piezas del bastidor, como sucede en las puertas de cuarterones, se cubren con panales de vidrio, resultan las que vamos á examinar ahora. Por regla general no ocupan los vidrios el $\frac{1}{4}$ ó el $\frac{1}{5}$ inferior de la altura de la puerta, que se suele llenar con tableros como en las interiores; pero de todos modos se reduce en este caso la altura de los peinazos comprendidos por los vidrios hasta convertirlos en unos listones de 0,^{m}025 á 0,^{m}030 de alto.

La fig. 662 y los detalles amplificados que le acompañan en las 663 y 664, hacen ver una puerta de este género. Cortado el vidrio con las dimensiones convenientes y colocado en el rebajo que por la cara exterior rodea á cada claro, segun se ve en el detalle *cd*, se clavan en cada uno de sus cuatro bordes dos ó tres puntas de París sin cabeza, á fin de sostenerle, las cuales se cubren despues con un reborde plano, formado con mastic de vidriero. A veces se reemplazan los listones de madera por otros de hierro, cuya seccion tiene la misma forma que los primeros, aunque con dimensiones más reducidas, fijándose tambien los vidrios del mismo modo. El grueso de éstos es variable segun las circunstancias, pero generalmente está comprendido entre 2 y 3 milímetros.

367. **Cierre de las puertas.**—Nada hemos dicho en los números anteriores acerca de la manera de ajustar las puertas cuando cierran la abertura en que se encuentran colocadas, y vamos ahora á examinar este punto, que es de suma importancia para que respondan al objeto que deben llenar.

El bastidor de la puerta debe encajar, cuando se cierra, en un *marco* de madera que se empotra en los alfeizares de la abertura, y consta de dos piezas verticales unidas á las jambas, y otra horizontal que lo está al dintel ó hace sus veces. Las piezas del marco presentan en su parte interior un rebajo *mn* (fig. 657 y 659) en el que vienen á ajustar los largueros y cábio superior de la puerta, presentando éstos unas veces su

escuadría completa, y otras, como se indica en la fig. 665, (lámina 30) tienen á su vez otro rebajo, que puede contribuir á cerrar mejor la union entre el bastidor y el marco. Generalmente se mueven las puertas girando alrededor del eje vertical proyectado en *p*, y á este fin se clavan en uno de los largueros del bastidor, que recibe el nombre de *quicio*, los herrajes convenientes que se unen, como describiremos más adelante, á otros contiguos clavados al marco. Al larguero opuesto al de quicio se llama de *batiente*.

Aun cuando se han adoptado formas muy variadas en los rebajos del marco y bastidor, las descritas son las más usuales y convenientes, por cuya razon no examinaremos las demás. Debe, sin embargo, advertirse que cualquiera que sea el sistema de rebajos adoptado se prefiere en la práctica que las puertas se abran girando de izquierda á derecha, miradas desde el exterior.

368. **Puertas de dos hojas.**—Están siempre compuestas de dos bastidores revestidos por uno de los métodos ya expuestos. Estos bastidores se unen por sus largueros de quicio á los dos del marco, como se ha dicho en el caso anterior, de modo que al girar los dos largueros de batiente se ajustan entre sí cuando la puerta se encuentra cerrada. La union entre las dos batientes se verifica por medio de cortes muy diversos; pero lo más frecuente es que cada uno tenga un rebajo á media madera (fig. 666) ó sencillamente que terminen en junta plana (fig. 667 lam. 31), y á fin de que se sujeten se clava á la hoja de la derecha el liston *a* y el *b* á la de la izquierda: estos listones, que á veces presentan varias molduras y adornos, se colocan tambien en muchos casos en la union á media madera.

En estas puertas se suele fijar al marco por medio de herrajes la hoja de la izquierda, y entonces actúa sobre ella la de la derecha, del mismo modo que tiene lugar en el marco de las que solo tienen una hoja; pero en uno y otro caso se impide que las puertas puedan abrirse hácia el exterior. Hay sin embargo circunstancias, como sucede en teatros, cafés y demás locales donde hay mucha concurrencia en opuesta direccion, en las que es conveniente que algunas puertas interiores se abran en ambos sentidos y se cierren por sí mismas; este

objeto se consigue haciendo que el eje de giro *b* (fig. 668), en lugar de ser vertical se incline superiormente hácia *a*, en el plano vertical que ocupe la puerta cuando esté cerrada. Puede aumentarse la eficacia de esta disposicion fijando en los largueros del marco resortes que actúen igualmente sobre ambas caras de la puerta, segun aparece en *cd* para una sola: las batientes deberán terminar en junta plana ó algo convexa para que el movimiento en ambos sentidos pueda tener lugar.

369. **Postigos.**—Se dá este nombre á una puerta pequeña que se abre en la hoja de una grande. Su construccion es la misma que las de las varias puertas descritas; solo que hay que disponer las piezas del bastidor de la grande, de suerte que un peinazo haga las veces del dintel del marco y dos montantes sirvan de apoyo á los largueros del postigo. El exámen de las figs. 652 y 653, hará desde luego comprender esta disposicion, que no presenta nada de nuevo.

370. **Puertas quebradas.**—Cuando se quiere que al quedar abierta una puerta no exceda su ancho de los derrames y estos sean estrechos, se consigue el objeto dividiendo la hoja en dos ó más partes reunidas entre sí por charnelas verticales, de modo que puedan plegarse unas sobre otras. Cada una de estas partes consta de dos largueros, dos cábios y los peinazos necesarios, y se cuída, cuando son más de dos, de colocar los herrajes que forman las charnelas en posicion alternada, unos en la cara exterior y otros en la interior. La figura 669 hace ver en proyeccion vertical el haz interior y exterior de una puerta de entrada de este género, y la 670 dá á conocer en seccion horizontal la misma puerta, estando una hoja cerrada y la otra abierta y plegada.

En muchos casos se practica un rebajo en los derrames, en el cual entra la puerta despues de plegada, fijándose en esta posicion con un pestillo ú otro medio parecido, y entonces aparece el derrame como un revestido de madera, que con frecuencia se adorna con molduras variadas.

371. **Persianas.**—Si en lugar de cubrirse con tableros ó cristales los intervalos que dejan las piezas del bastidor de una puerta, se hace con tabletas estrechas inclinadas á 45° (figura 671) ensambladas en los largueros, se tiene una *persiana*. Unas veces es invariable la inclinacion de las tabletas, y en

tal caso debe estar el borde inferior de una y el superior de la siguiente más baja en un plano horizontal, á fin de que la persiana llene su objeto de atenuar en las habitaciones la intensidad de la luz exterior. Otras es variable dicha inclinacion, ensamblándose las tabletas á los largueros por medio de espigas cilíndricas, y se cambia la inclinacion subiendo ó bajando un liston vertical unido á las tabletas por la parte interior de la persiana.

Estas se abren generalmente como las puertas, pero hácia afuera del edificio, aunque algunas veces lo hacen basculando, como aparece en la figura.

Tambien se hace uso de persianas llamadas *de cortina* que se suben ó bajan por medio de cordeles; y en cuya descripcion no creemos necesario entrar aquí, siendo por otra parte muy fácil comprender su disposicion á la simple vista.

372. **Ventanas.**—En general difieren de las puertas en las menores dimensiones de las piezas que entran á componerlas y en que el marco que las sostiene está formado de cuatro piezas, ajustándose á la inferior el cábio correspondiente de la ventana, del mismo modo que sucede por la parte superior. En dos grupos se dividen las ventanas, y reciben el nombre de *fijas* y *móviles*, segun que el bastidor se encuentre unido de una manera invariable con el marco que rodea la abertura ó pueda cambiar á voluntad de posicion; esto es, abrirse ó cerrarse como hemos visto en las puertas. En el primer caso suelen tener por objeto dar paso á la luz, á cuyo fin se ponen los listones necesarios para sostener los cristales, y á veces se combina su color y forma de suerte que resulten rombos, estrellas ú otros adornos variados. Las móviles dejan por lo regular claros rectangulares que se llenan con vidrios ó madera, como las puertas, adoptándose disposiciones muy diversas para darlas movimiento, siendo las que á continuacion se examinan las de uso más frecuente.

373. **Ventanas móviles.**—Por regla general están formadas de una ó dos hojas que se abren y ajustan como las puertas. Cuando el vano no excede de 1^{m} de alto por $0,^{m}80$ de ancho se adopta una sola hoja; pero si llega respectivamente á $1,^{m}50$ ó $2,^{m}50$ por $0,^{m}80$ ó $1,^{m}25$ se hace uso de dos, que en ciertas circunstancias se construyen plegadas, como se vé con

frecuencia en los balcones, no siendo éstos más que un caso particular de las ventanas.

La última disposicion aparece en alzado, visto por el interior, en la figura 672 y en planta, duplicada la escala, en la 673. Una hoja aparece cerrada y la otra plegada, habiéndola entrado en el rebajo que con este objeto se practica en los derrames. Las figs. 674 y 675 representan la seccion vertical del vano y ventana por la parte superior é inferior. En la última se vé cómo se recubre en muchos casos el marco con una chapa de zinc que presenta una ranura ó canal *a*, donde se reune el agua que pueda entrar del exterior, á la que se da salida por medio de algunos taladros inclinados. Los rebajos para el ajuste del bastidor con el marco difieren algo de los que hemos examinado, y esto es una prueba de la gran variedad de disposiciones que con este objeto se adoptan, segun digimos en otra ocasion.

Entre los varios sistemas empleados para abrir y cerrar las ventanas, es de bastante uso el llamado *de tabaquera*, que consiste en establecer la charnela de giro en la parte superior, como se vé en la figura 671 para la persiana de que nos hemos ocupado. Algunas veces se encuentra la charnela en la parte inferior; pero en ambos casos se adoptan varios herrajes ó mecanismos para mantenerlas á voluntad abiertas ó cerradas.

Las ventanas llamadas *de guillotina*, están compuestas de dos bastidores, uno encima de otro, dispuestos de manera que el superior pueda bajar, y subir el inferior, corriendo á lo largo de los largueros del marco, para lo cual se guian en su movimiento por medio de ranuras y lengüetas, disponiendo el conjunto como aparece en proyeccion y dos secciones en la figura 676, lámina 32. A cada lado de la parte superior de la ventana hay dobles poleas *pp*, que aparecen en mayor escala en la figura 677, por las que pasa la cuerda que por un extremo sostiene el bastidor, y por el otro se equilibra próximamente por medio de un contrapeso *q*: estas poleas y contrapesos están ocultos en el grueso de la abertura, como se ve en la seccion horizontal y en mayor escala en la figura 678. Las siguientes hasta 681, son los detalles de las secciones de los listones; de la manera de unirse los cábios de ambos bastidores cuando está cerrada la ventana, y el ajuste del cábio inferior con el antepecho.

Tambien se hace algunas veces que el bastidor ó bastidores se muevan horizontalmente en su plano, para lo cual se disponen en su cábio inferior dos ruedecillas y en el superior una lengüeta ó saliente. Las primeras se apoyan en la ranura de una pieza horizontal fija en el muro, que es continuacion de la pieza inferior del marco, á la que muchas veces se reviste con una chapa de hierro. La segunda está guiada por la ranura de otra pieza horizontal puesta en prolongacion de la superior del marco. La disposicion de estas ventanas, llamadas *corredizas*, se adopta tambien en muchas puertas vidrieras en las habitaciones interiores.

Por último, se emplean mucho en el dia ventanas dispuestas de modo que al abrirse permitan la entrada del aire exterior, ya en direccion horizontal, ya elevándose hácia el techo de la habitacion. Este sistema tiene la ventaja de preservar á las personas de la corriente directa del aire, lo que es de suma importancia en ciertos establecimientos como escuelas, hospitales, etc., etc. Constan de tres ó más bastidores cubiertos con vídrios, que se mueven al rededor de sus cábios inferiores, *mm*... (fig. 682, lám. 31), como en las ventanas de tabaquera, y para dar el movimiento se adopta un herraje especial, de que nos ocuparemos más adelante (379), á fin de que entre el aire con la conveniente inclinacion.

374. **Revestidos.**—En algunas habitaciones se revisten las paredes con maderas, como hemos visto en los derrames de las puertas y ventanas que encajan cuando están abiertas en rebajos practicados con este objeto. Este revestido puede extenderse al resto de la habitacion, y su construccion es en todo semejante á las puertas de cuarterones, fijándose los largueros y peinazos á piezas de madera que con este objeto se empotran en la fábrica.

Estas obras son más propias de la ebanistería, ya por las maderas finas que suelen emplearse, ya por los adornos y esmero en la mano de obra con que se ejecutan. Unas veces se construyen cubriendo toda la altura de la pared, si bien en el dia se emplea poco esta disposicion; otras solo llegan á $0,^{m}80$ ó 1^{m} de alto; y otras, por fin, se reducen á una tabla que se clava al pié de las paredes, para preservarlas en su parte inferior.

Tambien se ejecutan algunas veces tabiques de madera

construidos del mismo modo, que en unos casos tienen toda la altura de la habitacion y en otros solo alcanzan 1,^{m}60 á 1,^{m}80, dividiéndola en varios compartimientos. En general, se reduce su construccion á una série de montantes empotrados en el suelo y ligados por varios peinazos, cuyos claros se llenan con tableros más ó ménos adornados.

375. **Cierres metálicos.**—Puede cerrarse cualquier vano por medio de hojas de palastro, como vamos á describir, si bien su aplicacion principal es para cubrir ó cerrar las tiendas en vez de los tableros de madera que por lo regular se emplean; los que por su molestia en poner y quitar y por la poca seguridad que ofrecen, no son recomendables.

Estos cierres se componen de varias hojas rectangulares de palastro, que suelen tener 0,^{m}60 de alto, 0,^{m}002 de grueso y un largo igual al ancho de la abertura, segun representa en alzado la fig. 683 lám. 32, en seccion horizontal y en escala doble la 684, y se ve en mayor proporcion en las 685 y 686. Cada hoja se mueve en dos ranuras practicadas en las jambas de la abertura ó en los largueros del marco y tiene un reborde en sus lados horizontales, como aparece en la última figura citada. Para dar movimiento á estas hojas, se colocan detrás de los largueros del marco dos barras verticales, fileteadas en toda su longitud y sostenidas inferiormente por tejuelos. Por medio del manubrio *a* y un engranaje cónico, se hace girar á la barra *bb* alrededor de su eje, la cual termina por su parte superior en una rueda cónica que á su vez pone en movimiento á una barra horizontal: ésta por medio de otro engranaje cónico, hace girar á la otra barra fileteada *cc*.

La hoja inferior lleva unida á cada extremo una gran tuerca *dd*, por la que pasa la barra respectiva; así es que haciendo girar á éstas, suben ó bajan aquellas con la hoja á que van unidas. Cuando por el descenso de la primera hoja, su reborde superior tropieza con el inferior de la segunda, ésta baja tambien, y lo mismo sucede con las demás. Al elevarlas, el reborde superior de la primera hoja tropieza con un liston ó tacos que por la cara interior tiene la segunda cerca de su reborde más alto, y desde entonces suben las dos, sucediendo otro tanto con las restantes.

Este sistema, muy parecido á los cierres de las chimeneas

francesas, proporciona una gran seguridad; es de fácil manejo; se verifica el movimiento desde el interior del edificio, y por la disposicion de los rebordes, análoga á la de las ventanas en guillotina, impide por completo el paso de la lluvia.

ARTÍCULO III.

Herrajes.

Muy variados son y cumplen diversos objetos los que se emplean en la construccion, ya sirviendo de apoyo, de movimiento ó de fijacion en las puertas y ventanas, ya cerrando un espacio, como las verjas, ya por último, preservando á las edificaciones de la electricidad atmosférica, como los para-rayos. Dado el objeto de este libro, examinaremos los caractéres distintivos de estas construcciones, sin entrar en el estudio de las múltiples modificaciones que presentan, las que pueden conocerse consultando obras especiales.

376. **Goznes.**—Se dá este nombre á un herraje que tiene por objeto suspender una puerta y sobre el cual gira. Consta de un clavo en forma de escarpia (fig. 687 lám. 31), que se fija en el larguero del marco ó en la jamba por medio de un empotramiento ó dando á su vástago la forma de cola de raton. En la tetilla ó piton de la escarpia, entra el ojo de otra pieza llamada *puerca* (fig. 688) que se une al larguero y peinazos de la puerta con clavos, tornillos, etc.

En cada puerta se colocan tres ó más de estos goznes, cuyas dimensiones y resistencia varían con el peso que han de sostener. Las figs. 689 á 691, son variantes del mismo herraje, que por regla general solo se emplea en las grandes puertas y en las exteriores.

377. **Bisagras.**—Este herraje se compone de dos planchas de hierro (fig. 692), que en uno de sus bordes presenta uno ó más ojos, como las puercas, y que se unen entre sí por medio de un pasador ó *espita*. Una de las planchas se fija al marco y la otra á la puerta, de modo que se correspondan verticalmente los ojos. Se emplean de ordinario en las puertas interiores, balcones, ventanas y en las uniones de los diversos tableros que forman las puertas quebradas.

Las figs. 693 á 698 representan algunas de las muchas variantes de que se hace uso. La 695 está compuesta de seis planchas distintas, unidas por la espita y la 696 difiere únicamente de las anteriores en que las caras de contacto entre los ojos están inclinadas, de suerte, que cuando se abre la puerta se eleva al propio tiempo, á causa de tal inclinacion, y puede salvar la estera ó alfombra que exista en la parte interior: este herraje tiene además la propiedad de hacer que la puerta se cierre por sí misma.

378. **Cerrojos y pasadores.**—Los primeros se componen de una barra cilíndrica y horizontal, que lleva unida en su parte media otra plana á escuadra con la primera (fig. 699) y sirve de mango. Aquella va sostenida por dos armellas fijas en la puerta, permitiendo su movimiento horizontal. En el marco y á la misma altura se clava otra armella, en la cual entra la barra del cerrojo cuando cierra.

Si se quiere dotar al cerrojo de toda la seguridad de que es capaz, basta terminar en gancho, como aparece en proyeccion horizontal en la fig. 700, el extremo de la barra próxima al marco y dar á la armella que se clava á éste, una forma ovalada. Con esta disposicion y dando al cerrojo un movimiento de traslacion primero y luego otro de giro, para que el gancho coja á la armella en su posicion definitiva, queda perfectamente cerrada la puerta.

Una variante del cerrojo es el pasador (fig. 701 lám. 32) que está compuesto de una barra prismática guiada por dos armellas fijas á una pletina: ésta se clava á la puerta y en el marco se pone otra armella de ojo rectangular. En el centro de la barra ó en su extremo, hay un boton para imprimirla un movimiento de traslacion, único de que es susceptible. Algunas veces se coloca vertical y fija una hoja cerrada de puerta ó ventana al umbral ó dintel de la abertura.

Los cerrojos, cuyas dimensiones varían con la magnitud de la puerta, solo se emplean en las exteriores y en las que presentan gran superficie ó necesitan mucha seguridad, mientras que los pasadores suelen ponerse únicamente en las interiores.

379. **Fallebas.**—Este herraje, que se emplea en las puertas y ventanas de dos hojas, consta de una barra cilíndrica vertical, unida á la batiente de la hoja última que cierra. Se sostiene

por medio de armellas; y á fin de que no corra en sentido de su longitud, y solo pueda girar, presenta varios ensanches ó embases *a*, que descansan sobre aquellas (fig. 702 lám. 33). En los extremos de la barra hay dos uñas ó salientes que al girar aquella entran en los rebajos que tienen dos pletinas *bb* fijas á la parte superior é inferior de la abertura. El giro se obtiene por medio de un mango *cd*, de 10 á 15 centímetros de largo unido á cierta altura de la barra, el cual puede á su vez girar alrededor de su extremo *d*.

Si despues de cerrada la hoja y hecho girar la falleba, se hace encajar el mango en el picaporte unido á la hoja contigua, la nariz de éste impedirá que se abra la puerta.

La fig. 703 hace ver una variante, en la que la barra solo tiene movimiento de traslacion segun su eje, y termina superiormente en uña inclinada, que entra en el rebajo de una pletina, y por el otro extremo es seguida, entrando en un taladro ó caja abierta en la parte inferior de la abertura. A la altura ordinaria para el mango, la barra afecta la forma de cremallera, cuyos dientes engranan con los de un piñon unido al mango *b*; de modo que haciendo girar á éste en un sentido ó en otro, la barra sube ó baja.

Una disposicion especial de falleba es la representada en la fig. 682, á la que aludimos más atrás (373). Consiste en una barra doblemente acodada que aparece á parte á la derecha de la figura, con dos pitones en *c* y *d*, paralelos al lado *ef*: estos entran en los puntos medios de las piezas horizontales del marco y permiten girar á la barra acodada alrededor de la recta que une sus pitones. El lado *ef* pasa por entre unas grandes grapas *gg* clavadas en el borde superior de las hojas de la ventana, y al piton inferior va unido invariablemente un mango *h*, con el que se dá movimiento á la barra acodada, el cual posee un pequeño movimiento ascensional alrededor de una charnela próxima al piton, y tiene además en el extremo otro piton ó uña inferior. Moviendo horizontalmente el mango, se hace que el plano de la barra sea paralelo, perpendicular ú oblícuo respecto á la abertura: en el primer caso la ventana está cerrada; en el segundo lo más abierta posible, y en el tercero en posiciones intermedias. Una vez colocada en la que convenga, se baja el piton del mango para que se introduzca en uno de los taladros que con este ob-

jeto se practican en la parte inferior de la abertura, quedando así fija la posicion de la ventana.

380. **Herrajes varios.**—Solo describiremos ligeramente los que se usan con más frecuencia para cerrar las puertas y ventanas, pues su disposicion se comprende desde luego á la simple vista.

Los *picaportes* (fig. 704 lám. 32), se componen de una barreta que gira por uno de sus extremos y está sostenida hácia su centro por una armella. El eje de giro, que atraviesa la puerta, termina por la cara opuesta en un mango ó boton *a*, que sirve para levantar ó bajar el picaporte. En la otra hoja ó en el marco se clava la nariz *b*, que mantiene cerrada la puerta cuando sostiene la barreta.

El *pestillo de resorte* se encuentra encerrado en una caja de palastro fija en un bastidor, de la que hemos supuesto quitada la tapa para representarla en la fig. 705. Consta de un pestillo ordinario en forma de Z con dos armellas *a*, y *b*, que le guian en su movimiento, y un resorte *r*, que le mantiene en la posicion representada; ademas hay una doble palanca *cd*, que atravesada por un vástago en su centro puede girar al rededor del mismo, para lo cual se le fija un puño al salir de la caja. Haciendo girar al último en cualquier sentido actúa la palanca sobre el pestillo y mete en la caja el extremo *f*, permitiendo abrir la puerta; y cuando se suelta el puño le hace salir el resorte introduciéndole en una caja *g*, practicada en el marco ó en la otra hoja de la puerta.

Con el mismo objeto se emplean barras y cadenas que sujetas en una parte se enganchan en escárpias fijas en la otra, y otros varios medios que no necesitamos detallar.

381. **Cerraduras.**—Este es el herraje más complicado que se emplea en la construccion y consta en su parte esencial de una caja de palastro como la que acabamos de examinar, en la cual hay tambien un pestillo ó pasador que se mueve á uno ú otro lado por medio de una pieza independiente llamada *llave*, que solo cuando ha de actuar se introduce en la caja.

En la imposibilidad de poder examinar los tipos más usados en los numerosos y variados sistemas que generalmente se emplean, nos fijaremos en la descripcion de las cerraduras más sencillas y en las más seguras.

382. **Cerraduras ordinarias.**—En la fig. 706 se ve el interior de una cerradura de esta clase, cuyo pasador *ab* está guiado por una armella y una abertura lateral practicada en la caja, teniendo aquel en su borde inferior uno ó varios dientes y en el superior dos ó más rebajos. En estos entra un piton ó uña lateral en que termina el muelle *ced*, fijo en *c*, y cuyo objeto es impedir el movimiento del pasador mientras la uña no se levante, como vamos á ver. Además hay en la caja una abertura *f*, de forma muy variable, por la que entra la llave para abrir ó cerrar.

Esta última se compone de una placa ó *paleton a* (fig. 707) unido al vástago ó *tronco bc*, que termina en el *anillo d*. La seccion trasversal del paleton y del tronco debe ser de igual forma que la abertura *f* de la fig. 706 para que la llave entre en la cerradura. En este estado, y haciendo girar la llave al rededor del eje de su tronco, se moverá tambien el paleton y al llegar á la parte superior tropieza primero y eleva el resorte, separando la uña del pasador, y despues tropezará con el diente central, que hará correr en sentido de su movimiento una cierta distancia: despues de abandonar el diente deja de actuar sobre el resorte y éste al caer fija con la uña la posicion del pasador. Segun sea el sentido del movimiento, entrará ó saldrá de la caja el pasador, y por lo tanto abrirá ó cerrará la puerta.

Se han complicado extraordinariamente estos herrajes haciendo en el paleton variados y caprichosos rebajos y fijando en la cerradura, en el espacio circular que éstos han de recorrer, piezas de hierro; de modo que cualquier paleton que no tenga los mismos rebajos, podrá entrar en la cerradura, pero no podrá girar, ni abrirla por consiguiente. Esto no obstante, es tan fácil falsificar una llave de este género, que no puede contarse con la seguridad de estas cerraduras, por complicados que sean los rebajos que se hagan en el paleton, y en el dia se construyen otras mucho más eficaces en este concepto.

383. **Cerraduras de seguridad.**—Entre el sin número de las que llevan este nombre y aspiran á esta cualidad, describiremos únicamente las inglesas ó de Bramah, nombre de su inventor, que son las que llenan mejor el objeto que tratan de alcanzar.

Para mayor claridad en la descripcion, prescindiremos ahora de la caja en que está encerrada, y sea *mn* (fig. 708) un marco rectangular con dos aberturas *a* y *b* por las que pasa y se mueve horizontalmente el pasador *ab*. Si en los otros dos lados del marco y en el pasador se hacen varias muescas, seis por ejemplo, se podrán poner en ellas seis láminas de acero *c*,*d*,*e*... que se muevan libremente en sentido vertical; pero que no permitirán correr al pasador, hasta que la muesca *c'*, *d'*, *e'*... que cada lámina tiene, se ponga á la altura misma del pasador.

Las muescas de estas láminas, aunque de la misma profundidad, se encuentran á distintas alturas, de modo que es preciso elevar á cada una de éstas una cierta cantidad para que su muesca resulte en el plano del pasador. Esto se consigue por medio de una llave especial (fig. 709), cuyas salientes ó paletones tienen una altura igual á la que respectivamente tiene que recorrer cada lámina, para que su muesca enrase con el pasador.

Conocido el fundamento de esta cerradura, veamos ahora cómo se dispone en la práctica, y para esto admitamos que las dos caras horizontales del marco *mn* se arrollen hasta que cada una forme una corona circular, de la que supondremos que el lado *rs* se convierte en la circunferencia interior.

La figura 710 es la seccion vertical de esta cerradura circular, que se compone de un cilindro *aa* comprendido por la cubierta de laton *mnm*: en la parte inferior hay un disco *ss*, al que va invariablemente unido un cilindro de acero ó *espita p*, á lo largo de la que puede resbalar un platillo de acero *t*. El resorte *b*, de acero tambien, tiende continuamente á empujar hácia arriba el platillo, el cual únicamente baja cuando la llave le comprime, como veremos despues. Sobre este platillo encajan ocho láminas de acero *l*, de forma acodada y en direccion radial, segun se ve en proyeccion horizontal en la figura 711. Cada una de estas láminas presenta en su borde exterior una muesca á diferentes alturas, y en el plano *cc* hay fija una corona de acero, cuya proyeccion horizontal aparece en la figura 712, por cuyas muescas pueden correr verticalmente las láminas *l*.

El tronco de la llave (fig. 713) es hueco y en su extremo presenta ocho muescas cuyas profundidades son las convenientes

para que entrando en la cerradura y cogiendo la espita por el hueco central y por cada ranura su lámina correspondiente haga bajar á éstas lo necesario para que todas las muescas resulten en el plano *cc* (fig. 710). Esto se consigue comprimiendo el resorte *b* hasta que el paleton *x* de la llave éntre en una ranura circular *d*, de la que no puede salir hasta que haya dado una vuelta entera, haciendo girar á las láminas, espita y disco *ss*.

Este tiene un piton ó saliente *ff* (fig. 710) que atraviesa el pasador, el cual está vaciado segun el contorno que aparece de líneas llenas en la proyeccion horizontal, cuya posicion corresponde al caso de estar cerrada la cerradura: cuando está abierta, toma el vaciado la que se indica de puntos. Hay además en el fondo de la cerradura otro piton *g*, por el que corre la canal *eg* y sirve para impedir que el pasador vacile á derecha é izquierda.

Por lo dicho se deduce que esta cerradura proporciona completa seguridad, pues no es posible introducir en ella ninguna ganzúa, y para abrirla se necesita una llave cuyo tronco tenga el mismo hueco que la verdadera, y en su contorno aparezcan las muescas con la misma profundidad y colocadas en el mismo órden. Ademas, es preciso que la posicion del paleton corresponda á una muesca dada y que esté á una altura precisa, para que bajen la cantidad necesaria todas las láminas de la cerradura. Como en ésta no queda, despues de quitada la llave, ningun indicio de todas estas condiciones, que son indispensables para abrirla, puede contarse con su seguridad.

Una variante de las cerraduras son los candados, cuya forma y uso son conocidos de todos, razon por la que no nos detendremos á describirlos.

384. **Balcones y ventanas.**—En la parte exterior de los balcones y en su borde inferior, suelen empotrarse en la fábrica una ó más losetas con cierto resalto sobre el paramento del muro, formando repisa. Otras veces se consigue el mismo objeto empotrando los extremos de un fuerte fleje doblemente acodado, de modo que resulte una saliente rectangular, como en el caso anterior: ésta saliente se refuerza con un embarretado sencillo ó doble y se cubre con un embaldosado, de la misma manera que se dijo al tratar de los hogares de las chimeneas (250).

Sobre la repisa, así formada, se establece un bastidor de hierro que cierra el contorno y sirve de antepecho. Este se empotra en la repisa si es de piedra, ó se remacha en otro caso al fleje que la sostiene; pero siempre se empotra además en el muro á los costados de la abertura. Los antepechos, que en las obras monumentales están formados de balaustres de piedra, análogamente á lo que se dijo en las escaleras, se hacen por lo regular de hierro fundido ó forjado, y su forma y adornos varían con el carácter y riqueza de la edificacion.

Las figs. 714 y 715 y la 716 (lám. 33) hacen ver algunas de las numerosas y variadas disposiciones que se adoptan con este objeto.

Las rejas con que se aseguran las ventanas se suelen formar con una série de barrotes verticales sujetos á ciertas alturas por dos ó más travesaños horizontales, que presentan varios ojos, por los que pasan los primeros. Unos y otros se empotran en el marco de la ventana ó en el telar.

385. **Verjas**.—Los parques, jardines y otros sitios se rodean muchas veces con verjas en lugar de muros de cerca, para que se goce de su vista desde el exterior, sin menoscabo de la seguridad.

Las primeras se componen generalmente de varios tramos ó trozos separados por pilastras de fábrica ó columnas de fundicion. Cada tramo se compone de diversos barrotes verticales, cuadrados, cilíndricos ó con adornos variados, *aa* (fig. 717), los cuales terminan en su parte superior en lanza, piña ú otro objeto análogo, y en la inferior tienen un embase para su fijacion. Hácia la parte superior é inferior se colocan dos travesaños con aberturas, por las que pasan los barrotes, empotrándose los primeros en las pilastras contiguas. Los travesaños pueden ser dobles y más ó ménos adornado el intervalo que dejan, y á veces se colocan otros hácia la mitad de la altura de la verja.

Por lo regular la parte de los barrotes superior al último travesaño es sobrepuesta y se une á los mismos por medio de una caja y espiga atravesadas por una chaveta; pero en otros casos se hacen los barrotes de una sola pieza y los travesaños de varias que van ligando á los primeros dos á dos por medio de remaches.

Lo más frecuente es que la verja se apoye sobre un pretil de

fábrica en el que se empotran los barrotes, si bien en algunas ocasiones arranca de la superficie del suelo; pero de cualquier manera que sea, se refuerzan siempre que se crea necesario haciendo uso de botareles de hierro *abcd* (fig. 718, lám. 32) de formas muy variadas, que se unen de cuando en cuando á los barrotes y al pretil ó suelo.

386. **Barreras.**—No son más que verjas móviles de madera ó de hierro que se abren y cierran como las puertas. Dos fuertes barrotes ó pilastras sirven para sostenerlas, y teniendo en cuenta su gran peso, se evita la deformacion que este originaria colocando jabalcones ó tirantes como en las puertas de madera. El mismo fin se consigue poniendo en el travesaño inferior y cerca del batiente una ruedecilla, y empotrando sólidamente en el suelo un fleje, en forma de arco de círculo, sobre el cual ruede é insista siempre la ruedecilla y por lo tanto la barrera.

Aunque variable la disposicion de las partes que componen una barrera, la figura 717 dá á conocer su conjunto, que no difiere esencialmente del bastidor de las puertas de madera. Para mantenerlas cerradas se hace uso de cerrojos, cerraduras, candados y demas medios que acabamos de examinar.

ARTÍCULO IV.

Para-rayos.

387. **Preliminares.**—El objeto de los para-rayos es preservar á los edificios, así como á las personas y moviliario que contienen, de la accion destructora del rayo, evitándose por su medio que esta causa pueda ocasionar la ruina ó el incendio, bien sea de construcciones llamadas á durar largos años, bien el de las obras artísticas de más ó ménos precio que puedan encerrar. Aunque la construccion de los para-rayos es muy sencilla, es preciso no olvidar que exijen una esmerada conservacion para que sean eficaces sus efectos, pues de lo contrario, puede decirse que son más peligrosos que útiles.

Es sabido que las nubes muy cargadas de electricidad actúan por influencia, aunque estén á muchos kilómetros de la tierra, sobre la superficie de ésta, atrayendo lo que se llama la electricidad de signo contrario y rechazando la del mismo

nombre ó signo. Esta influencia tiende á ejercerse sobre todos los cuerpos, pero su accion es tanto más eficaz y activa cuanto mejores conductores sean éstos, se encuentren á menor distancia de la nube, y terminen superiormente en forma más puntiaguda. Cuando la electricidad de la nube tiene bastante tension para vencer la resistencia del aire y recomponerse con la de signo contrario de la superficie terrestre, se dice que *cae el rayo*, y sus efectos son terribles si los cuerpos electrizados de la superficie de la tierra, á través de los que se verifica la recomposicion, son malos conductores ó se encuentran aislados; pero si, por el contrario, su conductibilidad es grande, y están en comunicacion directa con masas voluminosas de otros cuerpos que tambien tengan esta propiedad, entonces se anulan ó por lo ménos se reducen notablemente los efectos destructores de la descarga eléctrica, hasta el punto de hacerla inofensiva.

El órden de la conductibilidad eléctrica de los cuerpos, clasificados de mayor á menor, es el siguiente:

Metales.	Minerales metálicos.	Vapor de agua.
Carbon calcinado.	Agua.	Aire enrarecido.
Plombagina.	Vegetales.	Vidrio pulverizado.
Acidos.	Animales.	Flor de azufre.
Soluciones salinas.	Llama.	Goma laca.

388. **Partes de que constan.**—Con arreglo á lo que se acaba de exponer y á la facilidad en la ejecucion, se comprende fácilmente que todo para-rayos debe constar de una barra metálica ó varias perfectamente unidas, cuya extremidad inferior se comunique con completa seguridad con una gran cantidad de agua, mientras que la superior suba lo bastante para dominar el edificio que se trata de proteger.

En cuanto á la barra metálica ó sea el primer conductor eléctrico, ha de tenerse en cuenta que debe terminar superiormente en punta fina y aguda, para facilitar la recomposicion de ambas electricidades, y así sucede muchas veces que al presentarse una nube tempestuosa, aparece la punta del para-rayos rodeada de un penacho luminoso, visible en la oscuridad, produciéndose una recomposicion lenta, que anula ó atenúa al ménos la intensidad de la descarga. A este efecto se llama la *accion preventiva* del para-rayos. Pero si por una cau-

sa cualquiera se encuentra redondeada la punta, se habrá destruido la accion preventiva, y por más que pueda tener lugar de la misma manera que antes la descarga eléctrica, esta será ahora más intensa, á igualdad de las demás condiciones.

Para conseguir el objeto propuesto, se han formado las puntas con metales que, como el platino, sean inalterables á las acciones atmosféricas y tengan su punto de fusion á una alta temperatura; pero esto no basta y es preciso además tener en cuenta su conductibilidad para el calor y la electricidad (a).

El siguiente cuadro expresa de una manera aproximada la respectiva conductibilidad y temperatura de fusion de los principales metales.

Sustancias.	Conductibilidad eléctrica.	Punto de fusion en grados centígrados.
Plata. . . .	100,00	1.000
Aluminio. .	98,00	700 próximamente.
Cobre. . . .	91,44	790
Oro.	65,46	1.100
Zinc.	24,16	412
Estaño.. . .	13,66	228
Hierro. . . .	12,25	1.500
Laton. . . .	12,00	Más fusible que el cobre.
Plomo. . . .	8,25	334
Platino. . .	8,15	1.500 próximamente.
Nikel. . . .	7,70	
Mercurio.. .	1,80	— 40
Grafito.. . .	0,56	

En virtud de los resultados que arroja este cuadro, se adopta en el dia la plata ó el cobre para formar la punta del para-rayos, en lugar del platino que antes se creia preferible, y el resto del conductor se construye de hierro en barras ó alambres de la seccion necesaria y perfectamente preservado de las influencias exteriores que pudieran alterar su composicion y propiedades.

(a) El 10 de Julio de 1843 cayó dos veces la descarga eléctrica sobre el para-rayos de la catedral de Estrasburgo y fundió la punta de platino en una longitud de 5 á 6 milímetros, formándose una gota redondeada muy brillante del metal fundido.

La masa de agua en que inferiormente se sumerje el conductor debe ser bastante grande para destruir el efecto de la descarga, y en todo caso es siempre preferible que sea agua corriente, ya superficial ó subterránea, á cuyo fin se practican pozos cuando sean necesarios.

Como se vé en conjunto en la fig. 719 (lám. 33), las partes esenciales de todo para-rayos son, la barra *ab*, el conductor *bcde* y el pozo en que éste se sumerje. Examinemos en detalle cada una de ellas.

389. **Barra.**—Así se llama el vástago vertical de hierro que se coloca sobre la cubierta del edificio. Superiormente termina en un cilindro de cobre concluyendo en cono, segun aparece en seccion en la fig. 720, siendo la altura total de esta parte de $0,^{m}20$ á $0,^{m}25$ y de $0,^{m}02$ su diámetro: el extremo cónico tiene una altura de $0,^{m}03$ á $0,^{m}04$. El cilindro se ajusta á rosca con la barra de hierro que, aunque redondeada en su parte superior, presenta en el resto una seccion trasversal cuadrada, cuyas dimensiones van creciendo hácia el pié hasta llegar á tener en el punto de union con el conductor 4 ó 5 centímetros de lado. Su altura total desde el vértice del cono á este último punto, suele variar de 3 á 5 metros, segun las circunstancias; si bien casi siempre es más ventajoso aumentar el número de barras manteniéndolas entre estos límites y uniendo entre sí sus piés por medio de un conductor comun para hacerlas solidarias, que reducir su número y darlas alturas de 7 ú 8 metros.

La parte de barra que está por bajo del conductor, si no hay más que uno, ó del más inferior si hubiera varios, no se cuenta como parte del para-rayos; pues que el fluido eléctrico sigue siempre el camino más fácil, que es el de la barra y conductor metálicos. Por esta razon, se puede variar la forma del pié de la barra y adoptar la más conveniente para fijarla de una manera sólida é invariable á la cumbrera ó pares de la cubierta. La fig. 721 hace ver una de las diversas maneras de fijar la barra atravesando la cumbrera y clavándola ó atornillándola al pendolon. Inmediatamente encima de la cubierta, debe presentar la barra un ensanche (fig. 722) á fin de impedir que las aguas de lluvia penetren en la armadura y la perjudiquen.

La experiencia ha enseñado que, la barra de un para-rayos

protege eficazmente á su alrededor un espacio circular de un rádio próximamente doble de su altura.

390. **Conductor.**—El conductor se une á la barra segun se indica en la fig. 723, penetrando el extremo redondeado de aquel por un ojo practicado en ésta, y sujetando el primero con una tuerca. El extremo cilíndrico de este primer trozo del conductor, tendrá $0,^{m}015$ de diámetro y en su parte cuadrada $0,^{m}02$ de lado. El ojo de la barra, lo mismo que la porcion cilíndrica del conductor y la tuerca, se estañan bien, y despues se refuerza la union formando un anillo *a* con la soldadura alrededor de la junta y un boton *b* que recubra la tuerca y el extremo del conductor.

Las dimensiones trasversales de los trozos siguientes del conductor, excepto los que comunican con la capa de agua, se reducen á $0,^{m}015$ de lado (a) y se unen entre sí con soldaduras de estaño que recubran las dos caras que deben estar en contacto (fig. 724) y despues de sujetarlas con dos pasadores, se guarnecen los extremos y el conjunto con soldadura, como se ve en seccion trasversal en la parte inferior de la figura.

En los cambios de direccion que ha de tener el conductor al pasar de la cubierta á los muros de fachada y despues al suelo hasta llegar á más ó ménos distancia á la boca del pozo, se tiene cuidado de redondearle, á fin de que no se agriete, y se sostiene con apoyos ó patines, con objeto de que no puedan romperse las soldaduras y se deje libre al conductor el movimiento longitudinal ocasionado por los cambios de temperatura, sin permitirle el lateral. La fig. 725 hace ver uno de estos patines en forma de horquilla sosteniendo el conductor, cuyo pié es una plancha de $0,^{m}25$ por $0,^{m}04$ ó $0,^{m}06$ para fijarle con tornillos ó clavazon á la cubierta, ó termina sencillamente en espiga, si se ha de incrustar en los muros del edificio. Estos patines se colocan á intervalos convenientes y se fabrican de hierro, pues que la corriente, como ya hemos dicho, sigue con preferencia por el conductor.

Si al pié de la construccion existe la capa de agua en que el para-rayos debe terminar, se practicará el pozo como dire-

---

(a) No hay ejemplo de que el rayo haya podido caldear, al rojo oscuro, una barra cuadrada de hierro de algunos metros de longitud y de $0,^{m}015$ de lado.

mos despues; pero si se encuentra á cierta distancia, es preciso establecer el conductor subterráneamente, de modo que no se alteren sus cualidades y proporcione fácil paso á la electricidad. Para esto se abre en el suelo una reguera ó zanja de $0,^{m}55$ á $0,^{m}60$ de profundidad y $0,^{m}28$ de ancho, en cuyo fondo se colocan en seco y de plano una capa de ladrillos, poniéndose sobre sus bordes otros de canto y rellenando el encajonado que así resulta con una capa de cisco de tahona ó cok triturado, de $0,^{m}03$ á $0,^{m}05$ de espesor. Sobre esta capa se coloca el conductor y se concluye el relleno con las sustancias anteriores, cubriendo por último el encajonado con ladrillos de plano como los del fondo. No tan solo queda de esta manera perfectamente preservado el conductor, sino que siendo muy buenas conductoras de la electricidad las sustancias que le rodean, facilitan la dispersion del fluido en las descargas.

391. **Pozo.**—La capa de agua, generalmente subterránea, en que entra el conductor suele ser la de los pozos de las inmediaciones que no se sequen nunca y tengan por lo ménos $0,^{m}50$ de profundidad de líquido en las épocas mas desfavorables. Si no existiera ya pozo, se construye uno como de ordinario, y se le destina á este uso únicamente, cuidando de que no reciba aguas sucias de ninguna clase; pero si las circunstancias lo exigieran se reemplaza el pozo por un taladro de la profundidad necesaria que tenga de $0,^{m}20$ á $0,^{m}25$ de diametro, revestido con tubos si hubiera desmoronamientos del terreno.

La porcion del conductor que entra en el pozo se forma con cuadradillo de $0,^{m}02$ de lado y en su extremo inferior lleva cuatro raigales ó *dispersadores abc*, *a'b'c'*, de $0,^{m}40$ á $0,^{m}50$ de longitud, como representa la fig. 726, que hace ver solamente dos de los raigales, siendo análogos los otros dos que se unen á las otras dos caras del conductor á algunos centímetros más arriba ó más abajo que los primeros. La union se verifica como siempre por medio de pasadores y soldaduras que envuelvan las caras de contacto y las tuercas de sujecion.

Al entrar el conductor en el pozo es preciso sostenerle, ya sea con una fuerte clavija apoyada en dos barras paralelas, ya por otros medios análogos, como el representado en la fig. 727, que consiste en dos hierros acodados *a,a'* fijos al conductor con pasadores, pero sin soldadura, y dos barras paralelas *b,b'* apo-

yadas en la boca del pozo, provista cada una de dos cabillas ó topes, entre los que se encuentra el hierro en ángulo. Cualquiera que sea la disposicion adoptada debe hacerse de modo que la soldadura de los raigales esté sumergida en el agua; pero los extremos de éstos no se han de apoyar en el fondo del pozo.

392. **Advertencias.**—Es necesario en estas construcciones tener medios de comprobar facilmente la profundidad del agua del pozo en las diversas estaciones del año, aun cuando se conozcan las variaciones de nivel en pozos contiguos, y tambien se deberá reconocer de cuando en cuando el estado del hierro sumergido, porque hay ciertas aguas que podrian acaso corroerle al cabo de cuatro ó cinco años. Para esto hay que deshacer la soldadura más próxima que está fuera del pozo y subir el resto del conductor á fin de examinar su extremidad inferior.

Es asimismo indispensable establecer una union entre el conductor y las masas metálicas próximas del suelo, principalmente con los tubos de conduccion de agua ó gas, sobre todo cuando aquel no descargue en una gran masa de agua y el terreno esté muy seco. De todos modos, es necesario dar al conductor la mayor superficie de descarga posible.

Además, es preciso tambien, en la parte superior del edificio, poner en comunicacion con el conductor, no solo las canales del tejado, sino las planchas metálicas que muchas veces cubren las limas. En prueba de ésto, diremos que en un edificio que tenia dos para-rayos en los extremos (fig. 728) unidos entre sí por una barra de hierro, del medio de la cual salia el conductor que iba al suelo, despues de haberse puesto en comunicacion con las canales *cc*, teniendo éstas varios tubos de bajada que casi llegaban al suelo, y estando las placas de zinc que cubrian el caballete y las cuatro limas en contacto directo con las barras *a*; pero que no habia ninguna union entre estas placas y los tubos *dd*, ni entre éstos y el suelo, se vió en 26 de Julio de 1870, que habiendo llegado á ser bastante grande la tension eléctrica, tuvo lugar la descarga entre *bb* y *cc* y entre *dd* y el suelo, rasgándose la primera placa y la extremidad inferior del tubo de bajada, y pasando desde aquí á una cañería próxima de gas, despues á otra de conduccion de agua y rompiéndolas á una y otra. Si se hubiera establecido la convenien-

te ligazon entre las diversas partes metálicas, la corriente habria llegado al suelo, no solo por el conductor sino por el camino *bbcdd*. Aun cuando el edificio no tuviera para-rayos, es indispensable la union entre las placas metálicas de las limas y caballetes con las canales, y entre los tubos de bajada y el suelo.

Al célebre Franklin (a) corresponde la gloria de haber sido el primero (1760) en colocar sobre una casa de Filadelfia una varilla vertical de 2,^{m}55 de largo y 0,^{m}025 de diámetro en la base, terminada superiormente en punta y en comunicacion con la tierra por medio de otra varilla mas delgada. A poco de establecido este para-rayos sufrió tan fuerte descarga, que se fundió la punta de la barra y se redujo el diámetro de la varilla que la unia al conductor, pero sin que la casa sufriera el menor desperfecto. Desde aquella época ha experimentado muchas modificaciones la construccion de los para-rayos hasta llegar á la adoptada en el dia; pero no creemos conveniente entrar en este lugar en un exámen histórico de esta naturaleza.

ARTÍCULO V.

Ventilacion y calefaccion.

393. **Necesidad de la ventilacion.**—No basta que una edificacion sea sólida para que llene por completo su objeto, sino que es necesario además que reuna las condiciones esenciales de salubridad y comodidad. Estas se obtienen por medio de la ventilacion y la calefaccion, que solo consideramos bajo un punto de vista general, remitiendo á las obras especiales el estudio detallado de este asunto.

Es sabido que solo por la respiracion altera y vicia el hombre el aire que le rodea, y al cabo de poco tiempo le hace impropio para la vida si no le renueva con otro puro (b). Esta

(a) Benjamin Franklin nació en 1706 en Boston (Estados-Unidos de América) y trabajó en su juventud primero en una fábrica de jabon, despues en otra de cuchillos y por fin en una imprenta. Por su asidua aplicacion llegó á distinguirse como sencillo y sublime moralista, físico notable y político perspicaz é ilustrado. Murió en su pais en 1790.

(b) El aire atmosférico, antes de entrar en los pulmones, se compone de 23,2 por 100 de oxígeno, 75,5 de nitrógeno, 1,5 próximamente de ácido carbónico, y una cantidad variable de vapor de agua; pero despues de salir de los mismos, en los que permanece unos diez segundos, contiene

renovacion debe ser regular y uniforme, y es de suma importancia higiénica cuando hayan de permanecer por algun tiempo varias personas en una habitacion cerrada.

Es por lo tanto necesario disponer un medio por el cuál se proporcione al aire viciado una salida, no solo de la habitacion, si que tambien de todo el edificio, y que al mismo tiempo se facilite la entrada uniforme del aire puro del exterior. Entre los numerosos medios adoptados con este objeto, examinaremos los que se emplean con más frecuencia.

394. **Ventilacion con chimeneas.**—La manera más sencilla de ventilar una habitacion es por medio de una chimenea con fuego. La columna de aire caliente que sube por el cañon produce un vacío relativo, que se ocupa con el aire exterior que entra por las uniones de las puertas y ventanas. Pero es sabido que el aire viciado y expelido por los pulmones tiene una temperatura mucho más elevada que el de la habitacion; por consecuencia, ocupará la parte más alta, donde quedará depositado si la chimenea no tiene más entrada que la del hogar *a* (fig. 729), aun cuando pueda entrar el exterior por la puerta *b*.

Si cerca del techo se coloca en la chimenea una *válvula* ó registro *c* (fig. 730), el aire viciado superior tenderá á salir de una manera regular por la abertura de la válvula, y la ventilacion será entonces completa, á causa de la corriente ascensional que produce la chimenea.

Una válvula sencilla y que dá muy buenos resultados es la

---

mayor cantidad de vapor, la misma de nitrógeno, de 11 á 12 por 100 de oxígeno y de 8 á 9 de ácido carbónico; de modo que casi la mitad del oxígeno del aire se espira en forma de ácido carbónico. Si el aire contiene únicamente 3,5 por 100 del último ácido, es impropio para la vida; así es que saliendo en cada espiracion 2,4 veces esta cantidad, resulta que si una persona inspira 5,5 litros por minuto, que es el término medio general, hace impropio para volver á ser respirado un volúmen de 13,2 litros. En la práctica se admite que un hombre adulto necesita al ménos 4 metros cúbicos de aire por hora cuando no se le puede renovar, para que no se vicie hasta el punto de ser dañoso.

Segun el profesor Liebig, un hombre quema al dia por la respiracion una cantidad de carbono de su sangre equivalente á 435 gramos de carbon, siendo esta combustion indispensable para que subsista el calor animal y la vida.

de *Arnott* (fig. 731), que consiste en una caja de hierro fundido, con una válvula ó portezuela dispuesta de suerte que permanece abierta mientras haya alguna presion del aire interior de la habitacion, é impide que en ésta entre el humo de la chimenea. Por medio de un resorte se la puede cerrar ó abrir más ó ménos, y aunque se la coloca alguna vez en el frente de la chimenea, es lo más usual y conveniente situarla en un costado.

Pero al mismo tiempo que se facilita la salida del aire viciado, es preciso dar ingreso al puro del exterior, y con este fin se deja un espacio hueco *b* (fig. 732) detrás del hogar de la chimenea, que por un lado comunica con la habitacion por medio de un registro ó corredera, y presenta una seccion igual próximamente á la de la válvula de salida, y por su base llega á la parte exterior por medio de un tubo ó recodo que termina más abajo que el suelo. Entrando el aire por este tubo, se calienta un poco en la cámara *b*, si la chimenea está encendida, y pasa á la habitacion mientras sale el viciado.

En la fig. 733 se ve en *a* y *b* la posicion del registro y la válvula, solo que deben situarse á distinto lado de la chimenea en vez de estar en el mismo, como aparecen.

Se puede obtener una ventilacion natural estableciendo una cornisa metálica hueca, que dé la vuelta á la habitacion y se encuentre dividida en toda su longitud en dos tubos ó canales separados y sobrepuestos. El aire puro penetra por un orificio que atraviesa el muro y llega al tubo inferior, de donde baja de una manera insensible á la pieza, por medio de pequeñas y numerosas aberturas practicadas en la cornisa. El tubo superior comunica con el cañon de la chimenea, al cual dirige el aire viciado que recibe por una série de pequeñas aberturas, semejantes á las del otro canal. Este sistema es económico y tiene la ventaja de funcionar por sí mismo con regularidad.

Tambien se emplea en las escuelas de Inglaterra el sistema Varley, que consiste en un tubo de zinc perforado con aberturas, comunicando con el aire exterior y pasando por la cornisa de tres lados de la habitacion: en el cuarto hay otro tubo, tambien perforado, en comunicacion con la chimenea. El primero actúa como tubo de admision del aire puro, y el segundo para la extraccion del viciado.

395. **Ventiladores.**—La ventilacion por medio de chimeneas exige que éstas permanezcan encendidas; pero cuando se quiere conseguír este resultado en la época del calor, es preciso apelar á otros medios, siendo el más eficaz el empleo de los ventiladores. Estos consisten (fig. 734) en un tubo *a* de zinc, hierro galvanizado, etc., terminado superiormente en un cono, sobre el cual se apoya por medio de varillas una placa circular *b*, que impide la entrada de la lluvia.

El ventilador se coloca en la cumbrera ó cerca de ella (figura 735), y si se quiere que el aire se renueve encima de la buhardilla *d* para que se conserve en buena temperatura, basta dejar entre su techo y la armadura un intervalo de 0,m12 á 0,m15, y abrir en la fachada debajo del alero varias aberturas *a* por las que entra el aire, que una vez calentado se escapa por el ventilador. Otro medio muy eficaz consiste en establecer desde la armadura *c* un tubo ó cañon *gg*, cuyo extremo inferior está en comunicacion con el aire exterior en el piso bajo ó sótano con ventana. Este tubo se pone otras veces en comunicacion con cada uno de los pisos que atraviasa, segun se observa en la fig. 736, en la que *a* es un foco calorífico alimentado con el aire exterior que pasa por el conducto *b*, y despues sube á los diversos pisos por los *cc*. El tubo de ventilacion tiene en cada piso dos aberturas *d* y *e* para la salida del aire viciado.

Por este medio se produce una ventilacion adecuada elevando ó descendiendo al propio tiempo la temperatura de la habitacion. Para lo primero basta abrir solo la válvula *d*, y para lo segundo ésta y la *e*. Si bien ménos activamente, se promueve este efecto aunque no exista el foco calorífico.

Otro ventilador muy moderno y eficaz es el de Banner, que aparece segun su seccion vertical en la fig. 737. Consta de un embudo horizontal *aa*, *a'a'*, cuya base mayor se dirige siempre hácia el viento por medio de la flecha ó veleta *f*, el cual está sostenido en *c* en un vástago de hierro, sujeto al mismo entre *dd*, y pudiendo girar á su alrededor. Invariablemente unido al embudo se encuentra el tubo curvo *bb*, *b'b'*, en donde termina superiormente al edificio el tubo de ventilacion. Al entrar una corriente de aire en el embudo se comprime cuando pasa por el espacio anular que existe entre los dos tubos *a* y *b*, y al

llegar al extremo de éste se dilata, formando un vacío relativo que arrastra al aire libre el contenido en el tubo *b*, produciendo en éste una corriente ascensional. Las principales ventajas de este aparato consisten, no tan solo en extraer el aire viciado y evitar en todo tiempo corrientes descendentes, sino que actúa en las más desfavorables circunstancias, como sucede durante los vientos huracanados, y es muy fácil construirle, instalarle y conservarle.

Los ventiladores descritos funcionan extrayendo siempre el aire viciado, y su accion aumenta con la diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior. Actúan igualmente bien en verano que en invierno y contribuyen en el primer caso á refrescar, y en el segundo á calentar las habitaciones.

Medios muy variados y poderosos se adoptan para la ventilacion de los teatros, hospitales y demás edificios, en los que ya por el número, ya por las condiciones de las personas que en ellos se reunen, es necesaria una renovacion constante y poderosa de la atmósfera que se respira; pero no podemos entrar aquí en su descripcion, por estar fuera del objeto de este libro. Esto no obstante, y como caso de contínua aplicacion, examinaremos la manera de establecer y ventilar las letrinas.

396. **Ventilacion de las letrinas.**—Cuando está bien construida y ventilada una letrina, en nada afecta á las condiciones higiénicas de la edificacion; pero en caso contrario, es un manantial perenne de emanaciones infectas, no tan solo incómodas, sino altamente perjudiciales á la salud de sus habitantes. Es por lo tanto de absoluta necesidad impedir que tales emanaciones lleguen al interior de la edificacion.

Con este objeto se han construido numerosos aparatos, llamados *inodoros*, que cumplen con más ó ménos eficacia el fin á que se los destina. La figura 738 y la 739 que aparece en la lámina 34, son dos ejemplos de las disposiciones más empleadas. En la primera se ve, en dos proyecciones, la cubeta cónica *abcd*, que entra en un casquete esférico *f* lleno de agua y que puede girar al rededor de *g*: hay además un contrapeso *h* unido á la varilla *ii*, y por último rodea á cierta altura á la cubeta un conducto de agua *mm* que tiene salida en la misma por *n*. Cuando se quiere que caigan en el tubo de bajada *p* las materias fe-

cales de la cubeta, basta elevar la varilla, tomando entonces el contrapeso y casquete esférico la posicion indicada de trazos, y como por el mismo movimiento se abre la llave *q* del conducto, sale por éste el agua que lava la cubeta y llena el casquete cuando vuelve á su primera posicion.

Una disposicion análoga y fácil de comprender á simple vista, es la representada por dos proyecciones en la fig. 739.

Un nuevo aparato es el representado por una seccion vertical en la figura 740 (lám. 33), debido tambien á Banner, de cuyo ventilador nos hemos ocupado en el número anterior. El borde inferior de la cubeta *b* está revestido con un anillo de goma elástica al cual oprime la cuchara de cobre *c* unida á una palanca cuyo eje de giro se encuentra á un lado de la cámara *aa* impermeable al aire. Al extremo de esta palanca, que está acodada hácia arriba, se suspende el peso *d*, y el tubo de bajada ó de salida de la cámara aparece en *e*. Cuando la cantidad de agua y materias vertidas en la cuchara *c* es bastante grande para contrarestar el peso *d*, baja aquella y aproxima el centro de gravedad del peso al eje de giro, y la cuchara permanece inclinada hasta verter todo su contenido, volviendo despues á subir y cerrar el borde de la cubeta: este borde se encuentra siempre cerrado con algunos centímetros del agua vertida por la parte superior de la cubeta y de este modo se impide la subida de toda clase de miasmas.

Este aparato, á más de automotor y completamente inodoro es de cómoda inspeccion y fácil reparacion, teniendo la ventaja, en los sitios bajos y expuestos á inundaciones, de que en vez de permitir la subida de las materias vertidas impide por completo su entrada en la cubeta. Un solo inodoro de esta especie situado en la parte inferior de un edificio, extiende su accion á varias letrinas que vayan á verter en él.

Si cuando no se adoptan estos aparatos, se quiere sin embargo impedir la accion deletérea de los miasmas de las letrinas, se puede conseguir fácilmente, haciendo que las que se encuentran en los diferentes pisos se correspondan en direccion vertical y vayan á comunicar á un solo tubo de bajada que por su extremo inferior llegue á un depósito ó alcantarilla y se prolongue superiormente hasta atravesar la cubierta en cuya extremidad se establece un ventilador. Si este tubo estuviera con-

tiguo al de una chimenea, el calor de éste haria más activa la ventilacion de aquel.

397. **Calefaccion.**—Nada diremos de su importancia y necesidad, por ser bien conocidas de todos; pero cualquiera que sea el medio que se adopte, deberá en todos los casos limitarse su efecto á elevar la temperatura del aire sin alterar su composicion, proporcionando fácil salida al humo y gases quemados por la combustion.

Dos medios principales se adoptan con este objeto, y son las chimeneas y las estufas; pues si bien hay otros aparatos más ó ménos complicados, que se emplean en grandes establecimientos, no creemos necesario ocuparnos aquí de ellos.

398. **Chimeneas.**—Tienen por objeto calentar un cierto espacio por medio del calor radiante que origina la combustion de la leña, carbon, cok, etc. Las figs. 741 á 743, representan en alzado, y secciones horizontal y vertical, una destinada á quemar el primer combustible que se coloca á cierta altura del suelo en el hogar *a*, subiendo los productos de la combustion por el cañon *bb*, que despues de atravesar la cubierta del edificio se eleva á cierta altura. Para facilitar la salida á la atmósfera de estos productos, cualquiera que sea la direccion del viento, se cubre el cañon con un aparato semejante al ventilador de que más atrás nos hemos ocupado. La fig. 744 es una variante del mismo, y la 745 es otra disposicion compuesta de un cono móvil al rededor de su vértice, que cierra el cañon por el lado de donde viene el viento y le abre por el opuesto. En estas terminaciones se emplea, además del palastro, el ladrillo y la terra-cotta, afectando formas variadas y arquitectónicas.

Con objeto de impedir las contra-corrientes que pudieran producir humo en las habitaciones, se construyen los cañones algo más estrechos en los extremos que en su parte central, y á fin de regular el tiro se establece á poca altura un registro ó chapa giratoria, por cuyo movimiento se aumenta ó reduce la seccion del cañon. Generalmente tienen estas chimeneas una compuerta de palastro que sirve para cerrarla y regular tambien el tiro, y se suelen construir los derrames, jambas y dintel de estuco, azulejos ó mármol, á fin de aumentar por la reflexion su efecto calorífico.

Las chimeneas inglesas ó de cok, una de las que aparece

en alzado, seccion horizontal y vertical en las figs. 746, 747 y 748 (lám. 34), se construyen bajo los mismos principios, y consisten en un canastillo de fundicion *aa*, bastante saliente, en el que se enciende el combustible, de modo que éste se aproxime á la parte central de la habitacion. Detrás, y un poco más alto, aparece la entrada *bb* del cañon, estableciéndose un fuerte tiro que mantiene en actividad la combustion.

Aun cuando las chimeneas de los diversos pisos de un edificio se corresponden por lo regular verticalmente, debe tener cada una su cañon y salida á la atmósfera, independientes de los de las demás, para que todas puedan actuar de una manera eficaz. La seccion trasversal de los cañones debe ser circular ó un rectángulo con los ángulos redondeados, para lo cual se emplean ladrillos de forma conveniente, como se ven ejemplos en las figs. 749 á 751 (láms. 33 y 34). El área de esta seccion no excede en los casos ordinarios de 3 á 4 decímetros cuadrados (a).

399. **Estufas.**—Proporcionando la industria estos medios de calefaccion, poco debemos decir acerca de ellos; sin embargo, indicaremos que son aparatos cerrados de hierro, en los que se quema el combustible, dándose salida á los productos de la combustion por un tubo que unas veces queda aparente y otras embebido en las paredes. El calor puede trasmitirse á la habitacion por la radiacion del hogar, pero lo más frecuente es que se verifique por el tubo de palastro que sirve de cañon.

(*a*) Cuando las chimeneas aisladas de las fábricas se construyen de ladrillo y son bajas, se las suele hacer prismáticas en el interior y con algun talud en el exterior; pero si son muy elevadas se da talud en ambos.

Ordinariamente el espesor de las grandes chimeneas en su parte superior es el ancho del ladrillo; el talud interior es de $0,^{m}015$ á $0,^{m}018$ por metro y el exterior de $0,^{m}024$ á $0,^{m}030$. Cuando la temperatura del humo no excede de 300° se puede hacer uso de ladrillos ordinarios unidos con mortero de cal; pero si llegara á 500° deberá formarse el paramento interior con ladrillos refractarios, sobre todo en la parte inferior. No debe emplearse el yeso sino para temperaturas menores de 100°.

Por lo regular se construyen estas chimeneas sin andamios exteriores, para lo cual se empotran en el interior de la obra, á medida que se va levantando, barrotes de hierro á intervalos de $0,^{m}60$, que forman escala y sirven para la construccion y reparaciones.

Aunque la calefaccion con estos aparatos es más económica que con las chimeneas, en razon á que se utiliza la casi totalidad del calor desarrollado, tienen sin embargo el grave inconveniente de que al elevarse mucho la temperatura de la caja ó del cañon, altera las cualidades del aire, haciéndole insalubre por la resecacion que experimenta. Para atenuar este inconveniente se coloca sobre la estufa una capacidad con agua y se promueve, por los medios que hemos señalado, la renovacion uniforme del aire.

En los establecimientos de importancia como hospitales, teatros, etc., se produce la calefaccion por medio de caloríferos situados en un punto conveniente, que hacen entrar en las habitaciones el aire exterior á una temperatura dada, segun se indica en la fig. 736; pero son tan variados los aparatos que con este objeto se emplean y tan diversos los sistemas adoptados, que no podemos entrar en su exámen.

400. **Observacion.**—Es de gran importancia para la salubridad de los edificios la ventilacion y calefaccion de las habitaciones, pues que siempre se observan efectos de laxitud y debilidad cuando es imperfecta una ú otra, los cuales desaparecen desde el momento en que se ha corregido este defecto.

En los colegios, cárceles, hospitales y edificios análogos, la ventilacion y calefaccion convenientemente establecidas son de absoluta necesidad, pues que disminuyen de una manera notable el número é intensidad de las enfermedades, y como consecuencia las defunciones. En los demas edificios, en donde se reune gran número de personas, como teatros, academias etc., es tambien de suma importancia, para evitar las molestias y mal estar físico que siempre ocasiona una viciosa calefaccion ó una ventilacion incompleta.

Es conveniente limpiar de cuando en cuando los cañones de las chimeneas para evitar fuegos que pueden romperlos ó deteriorarlos, especialmente si son cilíndricos, pues que entonces dan facilmente paso á miasmas dañosos á la salud. Por esta razon es necesario, despues de ocurrir un fuego en las chimeneas, examinar con cuidado los cañones y verificar desde luego la reparacion de los desperfectos que hayan experimentado.

PARTE TERCERA.

CONSERVACION Y REPARACION DE LAS CONSTRUCCIONES.

401. **Principios generales.**—Terminada la construccion de una obra cualquiera, tiene que resistir á la accion de los agentes exteriores, como lluvias, heladas, choques, rozamientos, etc., que tienden á degradarla y que pueden, al cabo de un tiempo más ó ménos largo, llegar á comprometer su solidez y existencia. Para evitar este efecto se verifican ciertos trabajos que tienen por objeto, ya reponer las degradaciones que hayan tenido lugar, ya impedir que puedan ocasionarse. En este último caso y cuando es fácil conocer las causas que pueden producir cualquiera alteracion, se llevan desde luego á cabo las obras que la contrarestan, y entonces se pueden considerar estas como parte integrante de los trabajos de construccion, recibiendo el nombre de *preventivos*; pero en el caso contrario hay que esperar á que se inicien las degradaciones para realizar las obras que hayan de reponerlas.

Cuando los desperfectos son poco importantes y las causas que los originan tienen cierto carácter de permanencia, es conveniente atender á su reposicion de una manera contínua ó á cortos y regulares períodos; pero cuando los efectos destructores adquieren mayor importancia, bien sea por haberlos descuidado en el caso anterior durante varios años, bien por la energía de la causa que los produce, hay que realizar obras á veces de mucha consideracion, en condiciones desfavorables y por lo tanto siempre costosas. Al primer sistema se le da el nombre de *conservacion* y al segundo el de *reparacion* de las obras, siendo aquel por regla general preferible, porque á igualdad de gasto final se mantiene en mejor estado la obra y se aumenta su duracion definitiva.

Examinaremos los trabajos de conservacion y reparacion en los casos más frecuentes, así en las obras de tierra como en las de arte.

CAPÍTULO I.

Obras de tierra.

402. **Preliminares.**—Las degradaciones y desperfectos que experimentan las obras de tierra se deben, en la generalidad de los casos, á la accion directa de las aguas de lluvia ó á la de las subterráneas ó interiores. Las primeras producen, segun su fuerza y abundancia, erosiones más ó ménos profundas en los taludes de los desmontes y terraplenes, mientras que las segundas, infiltradas entre capas de distinto grado de permeabilidad, provocan desprendimientos y deslizamientos, que exigen trabajos largos y costosos para restablecer las obras en las condiciones en que se encontraban primeramente.

Segun afecten estas causas á obras en desmonte ó terraplen, así hay que adoptar disposiciones especiales para evitar sus efectos, por cuya razon las examinaremos separadamente en cada uno de estos casos.

ARTÍCULO I.

Conservacion de los desmontes atacados por acciones superficiales.

La accion erosiva de las fuertes lluvias en los taludes de los desmontes se puede combatir, ó al ménos aminorar, adoptando varias disposiciones, de las que las más frecuentes y eficaces son las siguientes:

403. **Zanjas de coronacion.**—Cuando la superficie del terreno tiene una pendiente marcada hácia el talud de un desmonte, es preciso impedir que las aguas superficiales viertan sobre éste, á cuyo fin se establece cerca del borde una zanja, llamada *de coronacion*, *abcd* (fig. 752), cuidando de colocar los productos excavados del lado *af* para formar un reborde. Se dá á estas zanjas una inclinacion de 1 por 100 al ménos, en sentido

de su longitud, para facilitar la salida de las aguas, y se la continúa de esta manera hasta los extremos del desmonte; pero si el terreno presenta ondulaciones, las aguas de la zanja se reunirán en los puntos bajos, desde los cuales se establecerán cubetas que bajen hasta la cuneta de la vía, segun se dirá más adelante, y desde ésta saldrá al exterior por sus extremos como de ordinario. Estas zanjas deben estar siempre perfectamente limpias para que no se detengan y filtren las aguas.

Ya se ha visto más atrás que en algunos casos se depositan los productos del desmonte á sus costados formando caballeros, y entonces es conveniente reducir la superficie que pueda verter sobre el talud, á cuyo objeto se los dá la forma triangular *abc* (fig. 753), teniendo el lado *ab* el talud natural de las tierras y el *bc* otro mucho más tendido: tambien se puede conseguir el mismo objeto terminando superiormente el caballero, segun un plano *df* que baje hácia *c*. De cualquier modo que se forme el caballero, se establece por el lado de aguas arriba la zanja, como hemos dicho en el caso anterior, para la salida de las aguas superiores. Aún se puede reducir más la superficie que vierte en el desmonte si se forma en la zona *ag* una pequeña contrapendiente segun la línea de trazos *ha*. Si el terreno es muy permeable, se impiden las filtraciones que tendrian lugar en perjuicio de los taludes, revistiendo la zanja con una camisa de tierra impermeable bien apisonada.

404. **Banquetas.**—A medida que las aguas de lluvia descienden por un talud algo elevado, causan en la superficie degradaciones más y más importantes, en razon al aumento de fuerza viva de aquellas, y se disminuye este efecto reemplazando la superficie contínua del talud por una série de escalones ó *banquetas*, que siguen una direccion próximamente horizontal é interrumpen la caida de las aguas. Estas banquetas, á más de impedir que las tierras desprendidas obstruyan la cuneta de la vía, proporcionan en sentido de su longitud fácil salida á las aguas, y para contenerlas presentan en seccion trasversal la inclinacion conveniente (fig. 754). Se las da, segun su longitud, una pendiente de 2 á 3 por 100 á partir, siendo posible, desde el centro del desmonte; pero si no fuera conveniente establecer una pendiente general, se alternan, y en los puntos bajos se colocan cubetas que desagüen en la cuneta de la vía.

El ancho de las banquetas y su separacion puede variar mucho, segun las circunstancias; pero por regla general se admite en los casos ordinarios para el primero un metro, y se deja de una banqueta á otra en direccion vertical de 3 á 4 metros. Debe siempre cuidarse de que estén bien limpias, para que la marcha del agua no sufra entorpecimiento alguno.

405. **Consolidacion de los taludes.**—Cuando la superficie de los taludes puede degradarse, no solo por las aguas llovedizas, sino por la accion de fuertes vientos y de las heladas, hay que consolidarlos para evitar tales efectos, y á este fin se emplean dos procedimientos, llamados de *siembras* y *plantaciones*. Su objeto es desarrollar en la superficie del talud la vegetacion conveniente, para que dotándole de mayor resistencia le preserve de las acciones antedichas.

406. **Siembras.**—Se emplean con este fin plantas vivaces que se desarrollen con rapidez y que tengan raices numerosas y bastante profundas. En nuestros climas se suele hacer uso de la mielga, la sanguinaria y la grama, ya solas ó mejor mezcladas entre sí, cuando no se tiene seguridad de que una de ellas haya de prender. La siembra se verifica como de ordinario, pero es conveniente proteger estas plantas cuando empiezan á nacer hasta que adquieran algun vigor, y por esta causa se mezcla su semilla con la de la avena, que, desarrollándose con más actividad, preserva á las otras de la accion directa del sol y conserva en el suelo la humedad conveniente para la vegetacion.

Cuando el talud se encuentre en un terreno que se degrade fácilmente por la lluvia y los vientos, hay que proteger la semilla recien sembrada, para lo cual se la cubre con ramas de brezo, retama y hasta con paja, sobre las que se cruzan ligeras piezas de madera, las cuales se fijan al talud por medio de piquetes. Pero si á más de su poca resistencia fuera la naturaleza del terreno poco á propósito para el desarrollo de la vegetacion, se tendria entonces que cubrir con una camisa de buena tierra, que tenga un espesor aproximado de 0,m25, y para que ésta se una bien al talud, se abren en éste surcos (fig. 755) de unos 0,m20 de profundidad y con inclinaciones en sentido longitudinal de 10 á 15 por 100. Preparado así el talud, se construye la camisa por capas delgadas perfectamente apisonadas, facilitándose de este modo la pronta salida de la

lluvia que pudiera caer durante la ejecucion de este trabajo que debe realizarse con actividad.

407. **Plantaciones.**—Cuanto se acaba de decir referente á las condiciones y naturaleza del terreno para las siembras, es aplicable á las plantaciones, las cuales se verifican abriendo en el talud surcos horizontales de unos 0,^{m}25 de profundidad, separados unos de otros cosa de un metro. La apertura de los surcos se empieza por el más bajo y se colocan las raíces ó estacas de las plantas, tapándose despues con la tierra del surco superior, que se comprime con un pison plano, como el representado en la figura 114. A veces es preferible hacer varios orificios y llenarlos con las raíces ó estacas, para no desprender del talud largas fajas de tierra.

Las plantas que en cada caso conviene emplear dependen de la naturaleza del terreno y clima en que han de vivir, usándose en nuestro país y segun los casos la caña, cambronera, zumaque, falsa acacia, etc.

Las siembras y las plantaciones tienen sus ventajas é inconvenientes. Con las primeras hay que remover toda la superficie del talud; pero una vez arraigadas le protegen perfectamente; las segundas no tienen este inconveniente, pero hay que esperar más tiempo para que se desarrollen y su accion sea eficaz. Ambas proporcionan los medios más sencillos y económicos de consolidar los taludes en los casos examinados.

408. **Revestimientos.**—Siempre que por la naturaleza del terreno no se deba contar con el desarrollo de la vegetacion y no sea posible provocarla por los medios que se acaban de exponer, es preciso emplear, para obtener la consolidacion de los taludes, otros sistemas, que son los *revestimientos*. Al tratar de las siembras hemos visto un caso de este género cuando se cubre el talud con una camisa de tierra, en la cual se puede desarrollar la vegetacion, pero que sin necesidad de ésto sirve por sí sola para preservar más ó ménos á la superficie de los agentes exteriores. A más de la tierra, se hace uso para el objeto de tepes y mamposterías.

409. **Tepes.**—Los tepes ó céspedes son trozos prismáticos de tierra perfectamente trabada por las raíces de la grama ú otras plantas análogas, que suelen tener 0,^{m}30 de largo por otro tanto de ancho y una pequeña altura. Su empleo es con-

veniente y económico cuando hay en la proximidad de las obras prados de donde puedan extraerse.

Al cubrir un talud con tepes no se deben colocar de plano sobre la superficie, porque así resisten poco y podrian caerse fácilmente: se los sitúa de modo que sus lechos sean próximamente normales al talud, formando hiladas. Cuando la inclinacion del talud es pequeña y su altura considerable, no se debe emplear este revestimiento, pues que por la accion del peso superior tiende á encorvarse y desprenderse de la superficie que recubre; pero cuando aquella llega á uno de base por dos de altura ó es aún más tendida, se pueden emplear los tepes desde luego, ó se los da más resistencia estableciendo en el talud banquetas de 0,^{m}40 á 0,^{m}50 de ancho y separadas verticalmente 1,^{m}50, sobre las que se apoya el revestimiento por zonas independientes.

410. **Mamposterías.**—Desde luego se comprende que los mampuestos formarán revestimientos más resistentes y se podrán emplear en taludes más verticales que los tepes, á causa de la mayor dureza del material, aunque generalmente resultan más caros; pero su empleo se hace necesario siempre que el talud está expuesto á la accion de aguas corrientes ó que produzcan algun fuerte oleaje.

Estas mamposterías pueden construirse en seco ó con mortero. Las primeras tienen un empleo conveniente cuando la inclinacion del talud es de uno de base por tres de altura, ó más tendido, y en este caso se las dá un espesor en la parte superior de 0,^{m}30, medido normalmente al talud, el cual va aumentando hácia abajo, dándosele generalmente de aumento 0,^{m}05 ó 0,^{m}06 por metro de altura. Si el talud es bastante tendido para que el revestimiento no pueda encorvarse por su propio peso, se puede suprimir el aumento de espesor; pero la economía que se obtiene de este modo es muy pequeña y es en perjuicio de la solidez de la mampostería. Esta debe construirse con esmero, dándola una base sólida é inatacable por la accion de las aguas corrientes, y la trabazon de los mampuestos debe verificarse de la mejor manera posible. Si sobre el revestimiento actúan aguas corrientes ó con oleaje, hay que sentarle sobre una capa de grava ó guijo que tenga de 0,^{m}10 á 0,^{m}15 de grueso, la cual impide que al retirarse las

aguas puedan arrastrar las tierras interiores, aunque esten impregnadas y desleidas. Esto mismo se puede tambien conseguir promoviendo el desarrollo de plantas vivaces á través de las juntas de los mampuestos.

La mampostería con mortero solo se emplea cuando el talud es muy escarpado, debiéndose ejecutar con el mayor esmero y estableciendo de trecho en trecho los mechinales necesarios para evitar empujes que pudieran ocasionar la caida del revestimiento.

ARTÍCULO II.

Conservacion de los desmontes atacados por acciones interiores.

411. **Consideraciones generales.**—Al verificarse la apertura de un desmonte para establecer una vía pública, quedan lateralmente dos macizos de tierra, cuyas condiciones de estabilidad se han alterado al extraer el volúmen de la escavacion. Las fuerzas principales que actúan sobre estos macizos son la gravedad, la cohesion y el rozamiento. La primera tiende á hacer caer una parte más ó ménos grande del macizo á causa de la falta de equilibrio que resulta en las presiones laterales. La segunda se opone á este movimiento; pero su accion depende de la naturaleza de las tierras y de su mayor ó menor humedad: en el primer concepto puede decirse que la arcilla aumenta la cohesion y la arena la disminuye, y en el segundo que una carencia completa de humedad ó un gran exceso de agua disminuyen la fuerza coherente. Por último, el rozamiento varía entre límites muy extensos, siendo muy grande en la arena gruesa y limpia y bastante pequeño en las tierras arcillosas muy finas: por otra parte, disminuye á medida que aumenta la humedad de las tierras.

Por lo tanto, para evitar que haya movimiento en un macizo de tierras en estas condiciones, es preciso hacer que la cohesion y el rozamiento superen á la accion de la gravedad. Esto se consigue impidiendo la llegada y permanencia de las aguas en el macizo, á cuyo fin se las recoge y proporciona fácil salida al exterior por puntos convenientes.

412. **Reconocimiento de las aguas interiores.**—Puesto que el agua es la causa determinante de las alteraciones que sufren los macizos de tierra de los desmontes, es preciso examinar cómo se reconoce su presencia antes de empezar los trabajos de conservacion.

Para esto basta observar el talud de los desmontes durante su apertura, y sobre todo las cunetas, porque entonces las aguas interiores de filtracion son más abundantes y no se evaporan con facilidad. Estas filtraciones ó resudamientos pueden ser generales en toda la superficie del talud, cuando el terreno es bastante permeable y de naturaleza homogénea, ó bien aparecen limitados á zonas más ó ménos extensas y numerosas, siempre que el macizo esté formado por capas permeables comprendidas por otras que no lo sean. De todos modos, y aunque el desmonte se haya terminado tiempo antes, se debe examinar el talud por la mañana al salir el sol, porque entonces el aire frio de la noche ha absorbido poca agua y es fácil reconocer los resudamientos, bien sean generales ó en bancos. En caso de duda se puede extender arena seca ó ceniza sobre el talud, y el color más oscuro que toman por la humedad da á conocer la presencia del agua.

Cuando las filtraciones son en bancos, sucede generalmente que aparecen en la superficie del talud algo más bajas de lo que realmente están, á causa de las pequeñas grietas que las alternativas de humedad y sequedad producen en el banco arcilloso inferior, y en tal caso es preciso, para fijar su posicion, desmoronar un poco en la superficie las tierras agrietadas. Pero si los resudamientos son bastante abundantes, se determina la zona en que se producen, examinando el talud en el centro del dia, que es cuando el calor solar seca la superficie, excepto en los puntos en que la salida del agua tiene lugar.

Efectos análogos á los indicados se producen tambien cuando á los lados del desmonte se han cortado árboles, por cuyas raices se introduce el agua é impregna el macizo contiguo al talud.

413. **Zanjas de saneamiento.**—Al salir las aguas de filtracion al talud, apoyándose sobre un banco impermeable, se producen en la superficie las grietas de que hemos hablado poco hace, que por los cambios de sequedad y humedad atmosfé-

ricos ocasionan pequeños hundimientos en las dos capas contíguas á la filtracion, tal como se representa en *abc* (fig 756). La oquedad que resulta, desfavorable á la estabilidad de la masa superior, y la continuacion de las mismas acciones, determinan otro y otros hundimientos cada vez de mayor importancia, hasta desprenderse á veces muchos metros cúbicos.

Estos efectos se contrarestan por medio de las zanjas de saneamiento, que consisten en cierta cantidad de materias filtrantes, como piedra machacada de $0,^{m}04$ á $0,^{m}06$ de lado, cantos rodados, grava, etc., que se ponen en la capa que dá paso á las aguas de filtracion y se apoyan en una zanja revestida con fábrica de ladrillo y mortero hidraúlico que recoge las aguas filtradas, segun se representa en la fig. 757. El revestimiento de ladrillo deberá estar á unos $0,^{m}10$ por debajo de la capa filtrante, seguir en cuanto sea posible sus ondulaciones, presentar en sentido de su longitud una pendiente de 1 á 2 por 100 á lo ménos y tener un ancho en la base de $0,^{m}25$ á $0,^{m}30$. En los puntos bajos se abren otras zanjas trasversales que se dirigen al talud, se revisten de la misma manera y desaguan en cubetas de bajada que llegan hasta el pié del desmonte. El filtro de piedra se cubre con tepes puestos de plano y las raíces hácia afuera, ó en su defecto con lajas de piedra, ladrillos ó tejas, para impedir que la tierra superior penetre en el filtro.

La forma de estas zanjas varía segun aparece en la fig. 758, y se cubren con buena tierra apisonada, ya en la zona que solo ocupa la zanja, ya por medio de un revestimiento general, que puede además presentar banquetas *ab*.

En los puntos bajos (fig. 759) se establecen en el terreno sólido las zanjas trasversales y de bajada *abcd*, de que ya hemos hablado, las que van á desaguar al pié del talud, y de esta manera pueden servir para sanear los redientes de la superficie, sobre los que se forma despues la camisa de tierra. Pero cuando esta no existe, se construye la zanja de bajada ó cubeta en la superficie del desmonte, y á veces se reduce á una estrecha faja de fábrica, cóncava en seccion horizontal, que se ejecuta como se dijo al tratar de los revestimientos de mampostería, ó simplemente con ladrillos ó tejas.

Si á más del banco de filtraciones hubiera en el talud algunos resudamientos parciales, se los recoge análogamente á como

se acaba de exponer, proporcionándoles una salida fácil al exterior. Pero cuando las aguas salen con alguna abundancia y en superficies algo grandes, conviene hacer en toda la extension del talud que ocupan un revestimiento general ó especie de filtro, estableciendo en el fondo y trasversalmente las zanjas necesarias para el saneamiento, como se acaba de decir.

414. **Faginas.**—Cuando el terreno que se trata de sanear es arenoso con mucha agua y por lo tanto en el que la arena es muy movediza, hay que adoptar procedimientos especiales para que los trabajos den el resultado que se desea, y con este objeto se hace uso de faginas de $0,^{m}60$ á $0,^{m}80$ de largo por unos $0,^{m}25$ de diámetro, rellenas de grava ó piedra partida (fig. 760).

Para verificar este trabajo, que es sin duda alguna el más delicado y difícil en el saneamiento de los desmontes, se empieza por formar en la cresta del talud, una vez terminado, un escalon en el que se coloca la fagina *a* (fig. 761) y de la misma manera se prosigue hasta concluir la hilada superior. Despues se abre por partes otro escalon debajo, que tambien se cubre con otra hilada de faginas *b* y así se continúa hasta llegar á la parte inferior, donde se establece una zanja de saneamiento *z*. Hecho esto, y habiendo cuidado de que las juntas de las faginas resulten alternadas, se cubre todo en unos $0,^{m}10$ con grava, que se oprime en las hiladas de las faginas para que se apoyen unas en otras á fin de evitar desmoronamientos y se reviste con tepes puestos de plano ó con una capa de tierra vegetal bien comprimida y de $0,^{m}15$ á $0,^{m}20$ de espesor.

A veces hay que limpiar de cuando en cuando la zanja de saneamiento que se obstruye por la arena que arrastran las aguas durante los primeros dias despues de terminados los trabajos; pero esta operacion se hace fácilmente si se cuida de no llenar la zanja con piedra y no cubrir el talud hasta bastantes dias despues de colocadas las faginas.

415. **Drenes.**—En muchos casos y segun sea la naturaleza é inclinacion de la capa en que tienen lugar las filtraciones pueden éstas producir, no solo desmoronamientos, sino un resbalamiento general de la parte superior del desmonte, y entonces hay que apelar á medios más enérgicos para sanear en cierta profundidad el macizo contiguo al talud, con el fin de que

despues sirva de contrafuerte al resto del desmonte é impida su deslizamiento. Entre los varios sistemas seguidos con este objeto describiremos el de los drenes, que siempre ha dado buenos resultados cuando se aplica convenientemente, y es de ejecucion rápida y económica.

Estos trabajos se empiezan abriendo á cierta distancia de la cresta *a* del desmonte (fig. 762) una *zanja de drenage bc*, cuyo fondo sea casi paralelo al pié del talud. Esta zanja debe cortar todas las capas permeables superiores, entrando algo en el banco impermeable, que supondremos llega hasta *df* y además no debe tener en el fondo más ancho que de 0,^{m}50, indispensable para que un hombre pueda trabajar sin molestia. Su apertura se hace por trozos de 8 ó 10 metros, empezando por los extremos más bajos y se sostienen provisionalmente sus taludes por medio de entibaciones de que hablaremos más adelante. Una vez llegada la zanja á la profundidad que debe tener, se colocan en su fondo tubos de drenage de unos 0,^{m}06 de diámetro, los cuales deben presentar una pendiente bien uniforme que no baje de 0,5 á 1 por 100 y encontrarse siempre rodeados de materias filtrantes. Cuando las aguas aparecen con poca abundancia se emplean con este objeto los tepes, arena, tierra arenosa y hasta vegetal, que se extiende sobre el fondo de la zanja en un espesor de 0,^{m}30 próximamente; pero si fluyen en gran cantidad se hace uso de la grava, piedra ó ladrillo partido, con suficiente espesor para que los tubos no se cieguen. En las juntas de éstos se tiene más esmero y se revisten con tepes ó cañas para que no entre agua turbia.

Hecho esto, y antes de proceder al relleno de la zanja, se establecen drenes en el talud de ésta por donde llegan las filtraciones, los cuales se encajan en ranuras verticales hechas en el mismo talud y se los hace comunicar directamente con los drenes longitudinales inferiores. Aquellos basta que tengan de 0,^{m}03 á 0,^{m}04 de diámetro; distan unos de otros cosa de 2 metros y se van subiendo á medida que se terraplena, hasta 0,^{m}50 ó 1 metro antes de llegar á la superficie del suelo, donde se cubre su boca superior con un tapon de cañas, y análogamente se revisten sus juntas para que entre clara el agua de las filtraciones. El terraplen se va formando con las tierras que se desmontan en el trozo de zanja contiguo al en que ya están

puestos los drenes y se construye por capas delgadas que se apisonan perfectamente, de modo que no resulte capa alguna permeable á través de la zanja.

Con el fin de evitar erosiones y pequeños desprendimientos en el talud, se establece un poco aguas arriba de la zanja de drenage otra de coronacion *g*, á la que se dirigen, si es posible, las aguas que caen entre la zanja y la cresta del desmonte, como se indica por las líneas de trazos *bha*. Si la longitud del desmonte fuera muy grande, resultando muy pequeña la pendiente de los drenes longitudinales, ó la capa impermeable presentara fuertes ondulaciones, será necesario facilitar la salida de las aguas filtradas, para lo cual se establecen de cuando en cuando, ó en puntos bajos, *drenes trasversales* que, construidos como los longitudinales, vayan á desaguar al pié del talud.

Al practicar la apertura de la zanja puede encontrarse muy poca ó ninguna agua; y si bien esto no probará que el trabajo sea inútil, porque generalmente se verifica en el verano cuando pueden estar secos los bancos permeables, se podrán entonces suprimir en gran parte las entivaciones abriendo la zanja por trozos de unos 4 metros de longitud interrumpidos por macizos de 1,^{m}50, que se taladran desde el fondo en una longitud de 0,^{m}75 por cada lado para colocar los drenes, segun se indica en proyeccion horizontal en la fig. 763.

Si el banco impermeable pasa por debajo del pié del talud, segun la direccion *mn* (fig. 762), como sucede en muchas vías férreas y ordinarias, se establecen otros drenes *p*, inferiormente á las cunetas y de modo que lleguen al banco impermeable, poniéndolos en comunicacion con los longitudinales por medio de otros trasversales *cp*. Así se obtiene saneado el macizo *cbalp*, que insiste sobre el plano indicado *cp* y se apoya contra la parte sólida y saneada *pqrs*, pudiendo resistir el empuje de las tierras situadas al otro lado de *bc*.

Demás está decir que, segun los casos y la abundancia de materiales en la localidad, se podrán reemplazar los drenes longitudinales y verticales por materias filtrantes convenientemente colocadas, segun se ha dicho al tratar de las zanjas de saneamiento.

416. **Observacion.**—Todos los trabajos de saneamiento de-

ben en general establecerse en un terreno firme, estar á bastante profundidad para que las aguas filtradas no puedan helarse (a), y presentar los drenes ó materias filtrantes el desagüe necesario para que no haya obstrucciones. Si éstas existen, las filtraciones que aparecerán en la superficie de los desmontes las darán á conocer desde luego y se deberá en seguida hacer las reparaciones necesarias para que desaparezcan. Cuando un desagüe tiene lugar en la cuneta de la vía, y puede degradarla, se la reviste con mampostería en seco, tepes ú otro medio parecido, segun se indica en las figs. 759 y 767.

ARTÍCULO III.

Reparacion de los desmontes.

Cuando no se ha tenido cuidado de sanear los desmontes, ó se han verificado de una manera imperfecta estos trabajos, las acciones de que nos hemos ocupado en los dos artículos anteriores producen por lo regular desprendimientos superficiales ó hundimientos en masa, que generalmente son de mucha consideracion. En unos casos y otros se practican los trabajos necesarios para que no vuelvan á producirse estos efectos, volviendo á construir el talud ó dándole otra forma que presente más seguridad.

417. **Desprendimientos superficiales.**—Siempre que la profundidad de la zona disgregada no pasa de 1 á 1,50 métros, se considera como desprendimiento superficial, y en este caso se suele limitar la reparacion á restablecer el talud con ciertas precauciones ó dar á su perfil una forma más estable.

En la fig. 764 la línea *abc* del corte y la *df* de la proyeccion horizontal limitan la parte desprendida del talud. La reconstruccion de éste se ha empezado formando en el pié, y bien ligado al terreno firme, un murete *cgh* de piedra en seco, que sirve para dar salida á las aguas filtradas y sostener la parte superior. Encima se han levantado de trecho en trecho cadenas ó contrafuertes *mm*, de piedra en seco tambien, que dan paso á las aguas y dividen el talud en zonas independientes: éstas se

(a) Para esto basta que la zona por donde hayan de correr las aguas filtradas diste de la superficie d el talud unos 0,^{m}25.

rellenan con tierra de buena calidad y bien apisonada, resultando un todo perfectamente saneado y estable.

Hay casos en que los desprendimientes no tienén lugar en toda la altura del desmonte, sino en una zona ménos resistente que las demás, la cual es preciso fortalecer para evitar la caida del resto de la masa. En el desmonte representado en la fig. 765 existe en la parte central una capa de caliza sólida *ab* de 7,^{m}60 de espesor; encima otra de tierra suelta, y debajo otra de arcilla, que se desagregaba por el peso superior y los agentes exteriores, amenazando el desprendimiento de toda la parte situada encima de ella. Para evitar ésto se ha construido un muro de mampostería, que llega hasta el lecho de la caliza, el que se ha reforzado poniendo contrafuertes, distantes unos de otros 6 métros y unidos á los del talud opuesto por medio de bóvedas invertidas, que pasan por debajo de la vía férrea en que han tenido lugar estos trabajos. Además se ha formado en la parte interior del muro y en contacto con el banco de arcilla un dren longitudinal, que desagua por mechinales practicados en el muro. Como medida de precaucion para disminuir la carga, se ha desmontado la capa superior de tierra, en un ancho de 2,^{m}75, formando bánqueta.

En la fig. 766 se indica con línea de trazos la posicion primitiva del talud, y con las llenas el perfil adoptado en la reparacion, despues de establecer la zanja de saneamiento *ab* en la parte no desprendida. El desmonte de las tierras desmoronadas se verifica por pequeños trozos, se corta el terreno firme en escalones y se vuelve á rellenar la zona desmontada con las tierras de las contiguas, segun el perfil *cdfag*.

Por último la fig. 767 representa un desmonte cuyo talud tenia el perfil *abc* y que por las lluvias tomó la forma ondulada *dfg*, cegando la cuneta y parte de la vía. Para remediar ésto se han quitado por trozos todas las tierras desprendidas, despues se ha cortado el talud hasta el terreno firme, formando escalones *hlmn*, en los cuales se ha establecido una zanja de saneamiento en cada banco de filtracion que se ha encontrado. En los puntos bajos de éstas se han colocado otras zanjas trasversales, para que sucesivamente lleguen las aguas filtradas á la cuneta de la vía, y por último se ha consolidado la base del talud con un murete de mampostería hidráulica. El nuevo ta-

lud se ha recubierto con una camisa hecha con tierras del desmonte amasadas con otras de préstamo de buena calidad, bien apisonadas por capas horizontales, y sembradas despues.

418. **Hundimientos en masa.**—Siempre que tiene lugar un deslizamiento ó hundimiento de mucha importancia, se procede á su reparacion, procurando primero sanear el terreno que ha quedado intacto por detrás de las masas hundidas y consolidando despues las partes desprendidas, sin necesidad de desmontarlas por completo. Para conseguir este doble objeto, se adoptan diversos procedimientos, segun las circunstancias de cada caso.

En el representado en la fig. 768, el perfil primitivo que seguia el contorno de las líneas de trazos se ha corrido á lo largo del banco de filtracion AB; y para repararle se empezó por establecer segun la cara de separacion ab una zanja de saneamiento en el terreno firme. Por el lado del talud, y despues de dejar la superficie superior de la masa corrida segun la inclinacion cda que debe tener, se procedió á la formacion de un contrafuerte $cdfg$ de mampostería en seco, ó mejor y sobre todo más barato en la generalidad de los casos, de buena tierra apisonada, poniendo entre él y las tierras hundidas una capa de $0,^{m}30$ al ménos de espesor de materias filtrantes. El desmonte necesario para formar los contrafuertes se verifica en general por trozos de 6 ú 8 metros de longitud y se cuida de poner de cuando en cuando en comunicacion con la cuneta la capa filtrante dg, por medio de otras trasversales.

Cuando en una parte del terreno se inicia un movimiento que parece se habrá de continuar, es preferible decidirse á modificar la cara de corrimiento, siempre que ésto sea factible económicamente hablando. En el caso que representa la figura 769, el banco de greda AB, sobre el que tuvo lugar el movimiento, aparecia en la cuneta de la vía férrea á que pertenece el desmonte, y se atacó el macizo desprendido, desmontándole por zonas de 5 á 8 métros de longitud en direccion del eje del camino. La tierra que se extraia y era de buena calidad, se ponia aparte para volverla despues á emplear, y la cara superior del banco de greda se ha cortado en banquetas de 2 métros de ancho, inclinadas hácia el terreno, y aguas arriba de cada una se formó una pequeña zanja de saneamiento en cuyos puntos bajos se establecieron otras que desaguaban en la cuneta de la

vía. En el relleno *abcd* se empleó esclusivamente tierra de buena calidad.

Pero si el banco de greda es de mucha inclinacion y pasa por bajo de la rasante de la vía, como aparece en la fig. 770, se ocasionarán movimientos hasta por bajo de la explanacion, y para evitarlos y reparar el hundimiento del macizo *abfg* se ha empezado por construir aguas arriba la zanja de saneamiento *m*, que vierte sus aguas en otra trasversal é inclinada *mg*, la cual termina en la cuneta. Las aguas que atraviesan el macizo reformado *adcfg* se filtran á una capa de grava que se extendió en la superficie del banco de greda hasta por bajo de las cunetas, comunicando de distancia en distancia con una zanja de saneamiento *z* establecida en el eje de la vía y que abraza toda la longitud del desmonte.

Cuando éste es muy profundo y se inicia el movimiento del terreno en masas tales que no permita esperar resultados eficaces adoptando los procedimientos anteriores, podrá ser conveniente en algun caso restablecer las primitivas condiciones mecánicas de los macizos laterales, y á este fin cubrir el desmonte con una bóveda de la longitud necesaria, sobre la cual vengan á apoyarse las tierras desprendidas ó corridas de los macizos. De esta manera se convierte el desmonte en un túnel construido á cielo abierto, que puede en definitiva producir economía, segun las condiciones de la localidad en que se ejecute.

ARTÍCULO IV.

Conservacion y reparacion de los terraplenes.

419. **Generalidades.**—Cuanto se ha dicho relativamente á la naturaleza de los terrenos en los desmontes y á la conservacion de sus taludes, se aplica igualmente á los terraplenes; si bien es cierto que como éstos se pueden formar con materiales convenientemente escogidos que provengan si es necesario de préstamos, y desechar las tierras que se escaven de mala calidad, sucede generalmente que las alteraciones de los terraplenes son ménos importantes que las de los desmontes.

Tres causas pueden producirlas, que son: primera, falta de resistencia del suelo sobre que insiste el terraplen: segunda,

mala calidad ó ejecucion del mismo; y tercera, accion de las aguas que bañan á los taludes.

420. **Terraplenes sobre terrenos poco resistentes.**—Ya hemos indicado al tratar de la construccion de estas obras (96) las precauciones que deben tomarse en su ejecucion; más hay ocasiones en que un suelo que parece bastante resistente no lo es despues de cargado con el terraplen, por comprimirse en unos casos y resbalar en otros, á causa de existir una capa de deslizamiento, ó por producirse ambos fenómenos á la vez.

Esta última circunstancia tiene lugar en el caso representado en la fig. 771, en que las aguas de filtracion y de manantiales que impregnaban una capa *ab* de arena y grava, encima de un grueso banco *cd* de arcilla plástica, hacian corrediza y compresible la capa *fg* de tierra vegetal y caliza, sobre la que se asentó el terraplen primitivo *hl*. Para formar el nuevo se empezó por abrir dos zanjas *m*,*n* separadas entre sí 10 métros, rellenas de materias filtrantes, que corrian paralelamente al eje del camino y cuya profundidad llegaba hasta 12 y 15 métros. Estas zanjas se han ligado por otras trasversales, de modo que las aguas filtradas vayan á su fondo, y en un punto bajo se ha practicado un pozo general á través de la creta inferior por el que se absorben todas las aguas.

Con estas zanjas se ha conseguido apretar y consolidar la capa acuífera superior al banco de arcilla, y el macizo de 10 métros de espesor que abrazan las zanjas, una vez bien saneado, actúa como un muro de sostenimiento é impide que resbale el terreno superior.

421. **Terraplenes mal construidos.**—Esta causa es la que con más frecuencia origina los trabajos de conservacion y reparacion, y para evitarlos es necesario tener gran esmero mientras se construyen estas obras.

Si durante la construccion se ha dado lugar á que se forme una capa *a b*, *a' b'* de arena, (fig. 772, lám. 35) proveniente de las que pueda haber en el desmonte, ó una de barro, del que se forma en las cunetas, el agua filtrada ocasionará el deslizamiento del macizo *abcd*. Un efecto análogo tendrá lugar si al construir el terraplen se ha formado primero un núcleo central y despues se han ensanchado los taludes, procedimiento que se sigue con frecuencia cuando se emplean los wagones, porque

en tal caso la parte central es más impermeable y está más comprimida que las laterales. De todos modos y cualquiera que sea la composicion del terraplen, es evidente que la accion del agua, como sucede en los desmontes, será la causa principal de los desprendimientos y alteraciones que experimente.

La fig. 773 representa un terraplen en cuya construccion no se tuvo el cuidado de cortar el suelo en escalones, como se ha dicho en la primera parte de este libro, y además, por la caida de una pequeña obra de fábrica se obstruyó el paso de las aguas, las que fueron impregnando las tierras hasta que el talud de aguas abajo tomó la forma ondulada *abc*. En esta situacion, se empezó por reconstruir la obra de fábrica y dar salida á las aguas superiores por medio de una zanja *d*, que corria al pié del talud; despues se quitaron las tierras desprendidas, y en el pié del talud se abrió otra zanja *fgh*, de 10 metros de ancho y formando escalones, rellenándola con capas bien apisonadas de las tierras que se quitaron del desprendimiento, formando así un contrafuerte. Luego se reformó el talud dividiéndole en banquetas como se ve en la figura, y todo se plantó con mimbre que arraigó prontamente, conservándose hasta el dia en buen estado este terraplen.

Aunque las dimensiones de estos contrafuertes son muy variables, segun las circunstancias locales, se admite por regla general que su base sea igual á los $\frac{2}{3}$ y su altura media al $\frac{1}{3}$ de la elevacion del terraplen.

Cuando los desprendimientos son de importancia, se puede apelar á otros medios más eficaces, aunque más costosos que el anterior, pero fundados en los mismos principios.

En la fig. 774 aparece un terraplen que habia tomado la forma indicada por la curva *abc*. Se atacó el desprendimiento por su base abriendo sucesivamente zanjas trasversales que llegaban hasta el pié del antiguo talud, por cuyos puntos se dirigió paralelamente á la vía férrea otra zanja en la que se estableció un tubo de drenage recubierto con un filtro de piedra partida y envuelto á su vez con paja. Despues se construyó al pié de la parte desprendida, y á fin de evitar todo movimiento ulterior, un contrafuerte *dfg* formado con capas horizontales y bien apisonadas de buena tierra de préstamo mezclada con las desprendidas, y cuando el contrafuerte llegó á $1/3$ de la al-

tura del terraplen se rehizo el talud primitivo segun la línea *hl* con tierras apisonadas. Pero como en algunos puntos no resultó el nuevo terraplen bastante consolidado, por más que el contrafuerte inferior no sufriera el menor movimiento, se aplicó á la parte superior un remedio análogo al empleado en la inferior, esto es; se estableció otro filtro *md*, en comunicacion con el primero, y se formó otro contrafuerte *hlnp*. Por este medio quedó el terraplen perfectamente consolidado.

Demás está advertir que los drenes ó filtros longitudinales presentan las pendientes y contrapendientes necesarias, y que se proporciona fácil salida á las aguas por medio de tubos de drenage que lleguen al exterior de los contrafuertes.

422. **Accion de las aguas.**—En muchas circunstancias se forman depósitos de agua por medio de terraplenes que las contienen, y en otras están sometidos los de las vías á la accion de las aguas corrientes, debiéndose en uno y otro caso impedir que el choque ó el oleaje puedan destruirlos.

A este fin es conveniente que la superficie del terraplen en contacto con el agua no contenga arcilla ni greda y presente un talud muy tendido. Además se le debe revestir con tepes ó mampostería hasta cierta profundidad por bajo del nivel de las aguas, y así se consigue que aunque las tierras empapadas de líquido y habiendo disminuido su cohesion puedan verse arrastradas á través de las juntas del revestimiento, éste irá rellenando los vacíos interiores que se formen, modificándose algo la forma de su paramento, pero sin ocasionar la caida de los materiales que le componen.

La fig. 775 indica con suficiente claridad el sistema que generalmente se adopta para preservar los terraplenes de la accion destructiva de las inundaciones.

423. **Observacion.**—Todos los procedimientos reseñados para la conservacion y reparacion de los desmontes y terraplenes pueden modificarse de varias maneras, ya simplificando los descritos, ya combinando varios de los medios indicados, y su éxito dependerá siempre del estudio que el constructor deberá hacer de las causas que producen las alteraciones, y de la aplicacion razonada del sistema que se adopte, segun las circunstancias locales de cada caso. Este estudio y la explicacion más ó ménos exacta de las causas que motivan los trabajos de con-

servacion y reparacion, son de absoluta necesidad antes de empezar las obras que hayan de ejecutarse.

CAPÍTULO II.

Obras de arte.

424. **Causas de las degradaciones.**—Como en las obras de tierra, el agua es el agente principal que altera y á veces destruye la resistencia de las de arte, ya infiltrándose por las juntas, ya viéndose absorbida por los materiales, ocasionando en ambos casos por su congelacion desórdenes y roturas de más ó ménos importancia. Si despues de estos efectos se promueve en las degradaciones el desarrollo de plantas cuyos gérmenes arrastra el viento, el mal aumenta de intensidad y se necesita un remedio más difícil y poderoso, si ha de ser bastante eficaz.

Otra causa es tambien el desigual asiento que experimenta el terreno en que la obra descansa, produciendo grietas y roturas que con frecuencia promueven la caida total de la construccion. En este efecto, que por lo regular depende de la poca dureza del suelo, puede influir tambien el agua por su erosion y choque ó por alterar la resistencia del terreno al infiltrarse en su masa.

En estos casos, como en cualesquiera otros en que se origine una degradacion, es preciso, antes de comenzar trabajo alguno, conocer la causa que la haya originado, para atacar el mal en su orígen más bien que en sus resultados, si es que ha de ser todo lo eficaz que es necesario para que los motivos de destruccion desaparezcan por completo.

ARTÍCULO I.

Muros.

Las degradaciones que experimenta un muro pueden ser parciales y afectar únicamente á su paramento, ó totales y comprometer su resistencia; adoptándose en cada caso el procedimiento más conveniente, segun sea la extension y naturaleza de aquellas.

425. **Degradaciones superficiales**.—La más frecuente es la destruccion del mortero de las juntas, y ya hemos dicho (119) la manera de verificar el rejuntado y la época y condiciones en que debe verificarse. Debemos, sin embargo, repetir aquí que el mortero empleado en esta operacion debe manipularse con esmero y comprimirse perfectamente en obra, alisando además su paramento.

Cuando el muro está cubierto con un revoque ó enlucido más ó ménos degradado, hay que comenzar por limpiar con cuidado y dejar aparente la fábrica ó enlatado que recubria, descarnando en el primer caso las juntas y recortando en ambos el contorno de la parte que haya de quedar subsistente. Despues de limpia y humedecida la superficie, se procede á colocar el material, como se dijo al tratar de estas operaciones (171 y 172), cuidando de que quede bien unido al paramento del muro y al enlucido inmediato.

En el caso de que las influencias atmosféricas ataquen la resistencia de las piedras que componen un muro, se las puede preservar de esta accion adoptando varios procedimientos, de los que el más eficaz hasta el dia es el de Mr. Ransome. Consiste en aplicar á la piedra, bien sea con brocha, bien por sumersion si es posible, diferentes capas de una solucion de cal ó barita, prefiriéndose por lo regular la preparada con 500 gramos de hidrato de barita y 10 litros de agua. Hecho esto, se aplica un silicato soluble, que generalmente es una mezcla de silicatos neutros de potasa y sosa, cuya solucion tiene por término medio una densidad de 1,20, si bien se la varía segun la naturaleza más ó ménos porosa de la piedra y la profundidad hasta donde se quiere endurecer. El silicato insoluble que se produce por la mútua accion química de estas sustancias, dota al poco tiempo á la piedra de una capa resistente, de más ó ménos espesor, é inatacable por las acciones atmosféricas.

Si por una causa cualquiera se rompen algunas piedras ó ladrillos aislados del paramento, se empieza por concluir de quitar lo que resta y el mortero contiguo, hasta que resulte el claro necesario para colocar otro nuevo. Hecho esto, se limpia y moja el hueco y se reviste de buen mortero sus caras inferiores y laterales, recubriendo del propio modo la superior del nuevo material, que se introduce á percusion si es necesario,

hasta que ocupe el lugar que le corresponde y refluya el mortero en el paramento.

426. **Degradaciones interiores.**—A veces no salen al paramento las grietas y separaciones que existen en los muros, y sucede con frecuencia que el primero se separa del cuerpo del segundo, unas veces de un modo inapreciable á la simple vista y otras de una manera muy marcada, formando lo que se llama *barriga*. De todos modos, y cualquiera que sea la causa, es fácil comprobar si hay separacion entre el paramento y el resto del muro, ya por medio de la plomada, ya golpeando con un martillo, revelando la separacion un sonido sordo y oscuro, al paso que es mucho más claro cuando no existe.

Lo primero que hay que hacer en este caso es derribar toda la parte de paramento que se ha separado, limpiar despues y mojar la fábrica restante y reconstruir el paramento cuidando de ligarle con esmero á la antigua fábrica. Pero como esta no experimenta ningun asiento ulterior y no sucede lo mismo con la moderna, sobre todo si es de alguna extension, es preciso tomar varias precauciones para que no se renueve la separacion primera.

Uno de los medios más usados consiste en unir el nuevo paramento á la antigua fábrica por medio de grapones de doble codillo (fig. 776), cuya punta, que muchas veces se hace en forma de cola de raton, se introduce á percusion en las juntas de la antigua fábrica, ó se empotra en pequeños barrenos que se rellenan despues con cemento. Los codillos pueden quedar aparentes ó se ocultan con cemento, haciendo en las piedras que sujetan los rebajos convenientes para que no resalten. Estos grapones se colocan por zonas horizontales, separadas de 1,5 á 2 metros, y se distribuyen en tresbolillo.

Otro medio más eficaz aún es el de establecer en la nueva fábrica y á las alturas antedichas una faja de piedra, que se une á la fábrica antigua practicando pequeños taladros horizontales que enrasen con el sobrelecho de la faja, en los cuales se empotran anclas de forma especial. A este fin se hace que la cola de éstas conste de dos brazos flexibles (fig. 777), con una uña en cada extremo, y al introducirla se coloca entre ellos una cuña *a*, que, al tropezar con el fondo del taladro, ensancha los brazos y aprieta las uñas á los costados. El ancla se

introduce á percusion y se rellena el taladro con mortero de cemento.

Otros procedimientos que tambien se adoptan con este objeto son mucho ménos eficaces, y generalmente más costosos que los descritos.

427. **Degradaciones totales.**—Siempre que un muro ha perdido su aplomo y amenaza ruina, bien sea á causa de asientos desiguales en su base, ó por fuerzas exteriores, se puede algunas veces, y cuando no presenta gran espesor, volverle á su primitiva posicion empleando diversos medios.

Para ésto, y siempre que haya cerca de los paramentos puntos fijos de apoyo, se emplean tornillos, crics, prensas hidráulicas ó cualquier otro aparato análogo. Con objeto de que el esfuerzo que desarrollan se aplique con igualdad en el paramento sobre que actúan, se reviste éste con tablones horizontales fijos á montantes verticales, de una manera parecida á los costados de los cajones con que se fabrica el tapial, actuando sobre los últimos los aparatos por intermedio de las piezas necesarias. Los aparatos deben llenar la condicion de que todos actúen igualmente y sin sacudidas, como en los descimbramientos. Si á consecuencia del movimiento que de esta manera se imprime al muro, resulta en su base alguna grieta ó separacion, es preciso llenarla, para lo cual se inyecta mortero de cemento, como veremos más adelante (425), y se acuña si es necesario en el paramento.

Otro procedimiento se ha empleado en el Conservatorio de Artes de París cuando los estribos *b* y *c* (fig. 778) de la bóveda de una sala perdieron su aplomo moviéndose hácia fuera por haber construido encima el muro *a*. Para volverlos á su primitiva posicion, se establecieron fuertes barras *d* en el arranque de la bóveda, y en sus extremos se colocaron tuercas que apretaban fuertemente á las placas de fundicion *ee*. Hecho ésto, se calentaron las primeras en su parte central por medio de hornillos portátiles, lo que las dilató bastante cantidad para poder dar á las tuercas algunas vueltas más. Cuando se enfriaron las barras, los muros se acercaron á su primitiva posicion en una cantidad igual á la que aquellas se habian dilatado. Esta operacion, repetida las veces que fueron necesarias, y tomando precauciones que desde luego se comprenden para

que los muros no volvieran á su posicion anterior cada vez que se dilataban las barras, dió por resultado volverlos al estado que primitivamente tenian.

Si se comprende que no es posible restablecer un muro en su posicion primitiva, conviene examinar antes de demolerle si se le podrá dotar de la estabilidad necesaria por medio de contrafuertes y botareles. En tal caso deben establecerse estos refuerzos sobre un cimiento sólido y ligarse perfectamente al muro, por medio de rebajos practicados en el paramento de éste.

428. **Muros agrietados.**—Las grietas ó hendiduras que atraviesan los muros rompiendo la ligazon de unas partes con otras, están casi siempre motivadas por asientos desiguales en la fábrica, ó en el suelo sobre que insisten. Lo primero que hay que averiguar en un caso de este género es la causa que le ha originado y si el agrietamiento permanece constante ó va aumentando con el tiempo. La primera se determina por un atento exámen de la naturaleza y ejecucion de las fábricas y de los diversos esfuerzos que cada parte haya de resistir; por la comprobacion de la horizontalidad de la arista superior del zócalo ó de las líneas de hilada y por cuantos medios sean conducentes al objeto propuesto. El aumento de dimensiones de una grieta se conoce trazando en el paramento varias rectas trasversales á la misma y midiendo con exactitud el intervalo que en cada una comprende aquella: repitiendo la medicion en distintas épocas se viene en conocimiento de la marcha en que se verifica el aumento, si es que tiene lugar.

Conocida la intensidad y naturaleza del mal y la causa que le ha originado, se procede á su reparacion adoptando distintos procedimientos, segun provenga de la desigualdad de asientos en la fábrica, ó de falta de resistencia en el terreno.

429. **Cierre de las grietas.**—Antes de proceder á esta operacion, es preciso estar bien seguro de que no aumenta la magnitud de las grietas, pues de lo contrario seria ineficaz cuanto vamos á exponer para este caso.

Uno de los medios mas usados, consiste en demoler la fábrica del muro á derecha é izquierda de la grieta, de modo que queden á los costados adarajas, á las que pueda ligarse bien la nueva fábrica. Esta se ejecuta adoptando materiales de ma-

yores dimensiones que los demás; teniendo mucho esmero en la mano de obra, y empleando si es necesario morteros de cemento, que por su rápido fraguado liguen perfectamente la parte antigua con la nueva.

Otro procedimiento empleado con muy buen éxito en muros que se encontraban en condiciones desfavorables, consiste en limpiar y lavar lo mejor que sea posible el interior de la grieta, inyectando agua por medio de una bomba ú otro aparato parecido, y despues introducir mortero de cemento, apelando á una fuerte inyeccion. Para esto se hace uso de una bomba, representada en corte en la fig. 779, que consta de un cilindro de fundicion bien calibrado interiormente, que termina en un estrecho tubo, por donde se le introduce en la grieta. Mientras se le llena con mortero se cierra provisionalmente el orificio con un tapon de madera y despues se introduce el émbolo lleno, cuya varilla es en forma de cremallera, sobre la que se actúa por medio de la palanca *ab*: ésta tiene una uña lateral en *c*, que actúa en los dientes de aquella y hace entrar el émbolo; pero éste, á causa del choque, tiende á salir inmediatamente, y se evita tal efecto por medio de otra uña fija en *d*, que sin dificultar la entrada impide la salida. Repetida esta operacion las veces necesarias, se inyecta cuanto mortero se necesite.

Pudiera emplearse, en vez de la palanca, un tornillo ú otro medio que produjera una presion constante á voluntad.

Antes de inyectar el mortero es conveniente cerrar la grieta en los paramentos con una capa de cemento ó yeso, empezando desde la parte inferior, y dejando pequeños orificios á ciertas alturas, por los que se introduce el extremo de la bomba. El trabajo de ésta empieza en el orificio más bajo y se sigue inyectando mortero hasta que apareza en el inmediato superior, á donde se lleva entonces la bomba, y se prosigue del mismo modo hasta la parte más alta de la grieta.

430. **Recalzos.**—Se dá este nombre á las obras que se ejecutan en los cimientos de los muros ó por bajo de ellos, á fin de dotarlos de la resistencia necesaria. Esta operacion es sumamente delicada, puesto que mientras se lleva á cabo se encuentra el muro desprovisto de su apoyo primitivo y natural sobre el terreno.

Ante todo es preciso comenzar por sostener el muro que trata de recalzarse y á este fin se hace uso de los *puntales* ó vigas de madera *aa* (fig. 780), que se apoyan por un extremo en el suelo y por el otro en rebajos practicados en el paramento del muro que van á sostener. Si el terreno es poco resistente, se extienden en él tablones y maderos, sobre los que se apoyan los puntales, cuya inclinacion respecto á la vertical varía de 15 á 25° y si fuera ruinoso el estado del muro se reviste tambien su paramento con tablones, sobre los que se apoyan los puntáles. Estos se aprietan por su pié á golpe de mazo, si en ello no hubiera peligro para el muro; pero en caso contrario, se emplean palancas ó crics hasta que los aprieten lo conveniente, en cuyo caso se coloca debajo una cuña que se clava á los maderos del terreno para que los puntales no se corran. Cuando no basta una série de puntales, se coloca otra como la *b*.

Otra manera de apuntalar los muros, consiste en el empleo de los *caballetes*. Estos se componen en general de una carrera *a* (fig. 781), que atraviesa el muro por agujeros convenientemente abiertos ó por los vanos que tenga, la cual se encuentra sostenida en sus extremos por cuatro puntales ó piés *bb*, que á veces se ligan dos á dos por cruces de San Andrés. Apretando éstos como en el caso anterior, se consigue que los caballetes sostengan el muro de una manera más eficaz que entonces. Por último, si es necesario se amarra el muro á otras construcciones inmediatas por medio de tirantes ó armaduras de hierro de diversas formas.

Apuntalado el conjunto del muro por cualquiera de los medios explicados, hay que impedir que se deformen las puertas y ventanas que pueda contener, y á este fin se procede á su *acodalamiento*. Los *codales* (fig. 782), son piezas de madera casi horizontales que actúan sobre otras piezas ó tablones con que se reviste el telar de las aberturas. Se aprietan á golpe de mazo ó con palancas y se ponen en número suficiente, segun sean las dimensiones de la abertura.

Hechas estas operaciones prévias, se desmonta el terreno por delante, por detrás ó por ambos lados de los cimientos, en una longitud de 1 á 2 metros, segun sea su naturaleza y la profundidad de la zanja. Esta tiene sus taludes casi verticales (figura 783) y se sostienen por medio de *entibaciones*, que consisten en

tablones revistiendo los taludes, y en piezas que los sostienen como los codales. Luego se escava el terreno que está debajo de los cimientos, por partes más ó ménos estrechas, segun la resistencia de la fábrica superior, y cuando se haya llegado al fondo de la zanja se empieza la nueva fábrica inferior. Dos ó tres hiladas antes de llegar á la antigua, se ejecuta la nueva por escalones, á fin de poderla acuñar perfectamente con aquella en su parte interior, así como en los paramentos. Si el terreno en que descansa la nueva fundacion no es más resistente que el antiguo, se da á ésta el ensanche conveniente y se une á la antigua fábrica por medio de zarpas. Terminado el recalzo de una parte del muro se prosigue con la inmediata, y cuando se ha verificado en toda la extension de la zanja abierta, se la rellena con capas perfectamente apisonadas de tierra extraida de la zanja contigua, que despues se excava.

En otros casos, en lugar de hacerse el recalzo de una manera continua, se verifica por trozos separados, formando pilares, que sostienen el muro en los puntos más cargados, y llenando despues los intervalos que dejan. De todos modos, cada trozo de recalzo deberá terminar lateralmente con adarajas, á fin de ligarle bien con los trozos adyacentes.

Es sabido que encerrada la arena humedecida en una capacidad, posee la propiedad de ser incompresible, segun hemos visto en los descimbramientos, y ésto ha servido de base para aplicarla á los recalzos en vez de las fábricas ordinarias. Para ésto, y una vez ejecutadas las operaciones prévias de que hemos hablado, se va llenando la zanja inferior á los antiguos cimientos, con capas de arena humedecida que se apisonan fuertemente hasta llegar á unos $0,^{m}25$ por debajo del cimiento. Despues se colocan cuatro ó cinco hiladas de buenos ladrillos, construidas con poco mortero y apretadas con fuerza al cimiento, para lo cual se hace uso de un fuerte taco de madera que actúa por percusion. Por este procedimiento se han recalzado muchas é importantes edificaciones, habiéndose obtenido el resultado que se deseaba.

431. **Humedades interiores.**—A más de las influencias atmosféricas de que anteriormente nos hemos ocupado (421) atacan á veces la resistencia de un muro las humedades provenientes, ya del terreno sobre que insiste y que por la accion capilar

pueden invadir toda la masa de la obra, ya de las tierras contiguas si el muro es de sostenimiento.

En el primer caso basta en muchas circunstancias proceder al saneamiento del suelo en que el muro se apoya, y con este fin se establece á lo largo del paramento y algo más bajo que los cimientos un tubo de drenage, que vierta al exterior las aguas absorbidas, bien conduciéndolas á una distancia más ó ménos grande, bien haciéndolas llegar á un pozo abierto con este objeto. Si esto no fuera suficiente, se establecen dos zanjas ó tubos de saneamiento, próximo cada uno á su respectivo paramento.

Si la humedad del suelo fuera poco considerable, basta por lo regular revestir las caras del cimiento hasta una pequeña altura por encima de la superficie del terreno con una capa de cemento puesta de la misma manera que se dijo al tratar de las contraroscas de las bóvedas. En circunstancias escepcionales puede combinarse este sistema con el saneamiento prévio del terreno.

En el segundo caso, ya dijimos (163) las precauciones con que debe construirse un muro de esta clase; pero si aquellas se han desatendido es preciso establecer los medios necesarios para dar salida al exterior á las aguas que pueda contener el terraplen. Para esto se practican con barrenas taladros á través del muro, que llenen las funciones de los mechinales, y á veces se revisten con tubos de fundicion que se hacen entrar más ó ménos en el terraplen para absorber su humedad é impedir que moje el paramento interior. Estos tubos suelen tener de 7 á 8 centímetros de diámetro por 1,^{m}25 de longitud, y se encuentran en todo su contorno provistos de pequeños taladros cónicos ensanchados hácia el interior, siendo tambien cónica su forma general, para que se puedan unir enchufándolos.

Si este procedimiento no basta, hay que apelar á establecer detrás del muro una zanja de saneamiento y hacer uso de los medios que se indicaron al tratar de la construccion de estas obras, á fin de impedir que puedan perjudicar á la fábrica las aguas contenidas en el terraplen.

432. **Observacion.**—No basta conocer la causa que origina una alteracion cualquiera en las condiciones de resistencia de un muro, sino que es preciso además apreciar con suficiente

exactitud su intensidad para adoptar en cada caso el remedio mas apropiado. Sin este exámen prévio, no tan solo pudiera adoptarse un procedimiento perjudicial, como seria, por ejemplo, un enlucido en el paramento cuando la humedad provenga de las fundaciones, puesto que no pudiéndola entonces trasudar subiria más por efecto de la capilaridad, sino que, aun adoptando el procedimiento conveniente, sus resultados habrian de ser más ó ménos ineficaces y exigir nuevas operaciones, que harian en definitiva el sistema largo y costoso.

Es preciso, por lo tanto, si se quieren evitar estos inconvenientes, tomar durante la construccion las mayores precauciones, así respecto á la naturaleza de los materiales empleados y su mano de obra, como en la manera de anular las causas exteriores que puedan perjudicar la resistencia de un muro cualquiera.

ARTÍCULO II.

Bóvedas

433. **Generalidades.**—Las bóvedas están expuestas, de la misma manera que los muros, á influencias exteriores que pueden ocasionar en sus paramentos degradaciones, cuya reparacion se lleva á cabo empleando los procedimientos descritos en el artículo anterior.

Con frecuencia sucede que en una bóveda aparecen agrietamientos, originados, no por falta de resistencia de la bóveda misma, sino por ceder más ó ménos los apoyos sobre que insiste, como aconteció en el Conservatorio de Artes de París, y en tal caso, es preciso reforzar éstos despues de vueltos á colocar en su primitiva posicion, si es posible, ó reducir el empuje de la bóveda sobre los mismos. La primera operacion, ya hemos dicho como se verifica, segun las circunstancias, y en cuanto á la segunda, se adoptan disposiciones muy diversas en los distintos casos que pueden presentarse.

Si las degradaciones de la bóveda no dependen de movimientos en sus apoyos, hay que repararlas de la misma manera que se dijo en los muros, ya rejuntándolas ó reponiendo cualquier desperfecto de poca importancia que haya experimentado, ya apelando á las inyecciones con morteros de cemento.

434. **Refuerzos auxiliares.**—Cuando el empuje de la bóveda es tal que pueda alterar la posicion de sus apoyos, es fácil impedir este efecto colocando en sus arranques una série de barras de hierro que vayan de un apoyo á otro, si la bóveda es de cañon, las que despues de atravesarlos se sujetan del lado exterior por medio de tuercas, segun se dispuso en el ejemplo citado del Conservatorio de Artes.

En el caso de ser la bóveda esférica ó en rincon de cláustro, es fácil conseguir el mismo objeto sin que el refuerzo quede aparente. Para esto se establece en los arranques por el trasdós un fuerte marco ó cincho de hierro que ajuste bien con la fábrica de la bóveda, á cuyo fin, y si ésta no es de grandes dimensiones, se suele caldear préviamente; pero si esto no es posible, se verifica el ajuste por medio de cuñas de hierro colocadas á ciertos intervalos, rellenando los espacios intermedios con buen mortero. A veces, se establece otro cincho á cierta altura, ligándose con el primero por medio de barras ó flejes, consolidándose de esta manera una zona más ó ménos ancha de la bóveda.

Siempre que estos refuerzos puedan combinarse con algun aligeramiento en las cargas que actúan sobre la bóveda, su efecto será más eficaz y seguro.

435. **Reparaciones parciales.**—La extraccion y reposicion de un sillar degradado en un muro, no presenta grandes dificultades, atendida su forma prismática; pero no sucede lo mismo con las dovelas de una bóveda, por la cuneiforme que afectan. Es preciso para esto emplear medios especiales; y á fin de formar idea sobre este particular, describiremos el procedimiento seguido en la reparacion de un puente de Lóndres.

Las dovelas de este puente eran de piedra tierna, y habiéndose destruido por el paramento varias de ellas se trató de reemplazarlas por otras de la conveniente profundidad y de naturaleza más resistente. Para esto, se comenzó por rebajar hasta una profundidad variable de $0,^{m}30$ á $0,^{m}60$ la dovela ó dovelas que se iban á reparar, y despues de igualar bien las paredes de este rebajo, se colocaron en el espacio que ocupaba cada dovela dos trozos de la nueva piedra, dispuestos de una manera especial.

Sea *mnpq* (fig. 784) el hueco que se trata de llenar con los

dos nuevos trozos *a* y *b*: el primero, que es el mayor y se coloca inferiormente, tiene la forma de cuña de las dovelas en general y se sitúa en la misma disposicion que éstas; y el segundo, aunque afecta la misma forma, se le pone de modo que su cabeza más ancha resulte en el paramento. Las dos caras de estos trozos que han de quedar en contacto tienen dos ó más cajas circulares que se corresponden, de las cuales presentan las de la parte inferior una profundidad mitad que las de la superior, colocándose en estas últimas una falsa espiga de piedra dura, de $0,^{m}125$ de largo, $0,^{m}075$ de diámetro en el centro y $0,^{m}060$ en los extremos: estas espigas se mantienen provisionalmente en los trozos *b* sin presentar por la parte inferior ninguna saliente. Además, hay aberturas cilíndricas de unos 15 milímetros de diámetro, que van desde el fondo de estas cajas á los chaflanes que forman el almohadillado.

Preparadas las piedras como se acaba de decir, se coloca primero la inferior *a*, que insiste en la oquedad, por el intermedio de una capa de mortero y se sostiene provisionalmente con pequeños codales puestos en el hueco que ha de ocupar la otra parte *b*, la cual se coloca despues con sus caras de contacto recubiertas con mortero y llevando en su caja la espiga que se sujeta con la cuerda *d*. El trozo *b* se introduce á golpe de mazo hasta que se correspondan las cajas, en cuyo caso se tira del extremo *e* de la cuerda, para hacer que la mitad de la llave ó espiga ocupe la caja de *a*, segun se ve en la parte inferior de la figura. Se puede suprimir el taladro en *a*, empujando la llave desde el *d* por medio de una varilla de hierro. Hecho ésto, se vierte por *d* buen mortero de cemento que llena los huecos que habian quedado.

La longitud de los trozos *b* en el paramento no suele pasar de $0,^{m}75$, para que no sea difícil su introduccion, mientras que la de los trozos *a* no exige esta limitacion, y se arregla á las dimensiones de la cavidad que se ha de reparar.

436. **Modificaciones.**—Pudiera simplificarse mucho el procedimiento anterior, obteniéndose resultados más seguros y con mayor economía en la mano de obra y gasto total, haciendo uso de buenos morteros de cemento.

Para esto, bastaria labrar un prisma ó sillar, cuyos lechos fueran paralelos y que pudiera entrar por la cavidad practi-

cada en la bóveda. Una vez colocado por los medios usuales é insistiendo sobre mortero ordinario, quedará encima del sobrelecho un hueco prismático de base triangular, que puede rellenarse fácilmente inyectando mortero de cemento, á cuyo fin se practican en el sobrelecho dos pequeños rebajos que lleguen al paramento. Lleno este hueco con el mortero que en su rápido fraguado se une con energía á los sillares superior é inferior, éste llena el mismo objeto que una dovela de la forma ordinaria.

Pudiera promoverse aún más la union entre el mortero y el sillar, si en el sobrelecho de éste se practican pequeños rebajos ó estrías en la direccion conveniente.

437. **Observacion.**—En las reparaciones de poca importancia de las bóvedas se puede proceder desde luego á los trabajos necesarios al objeto; pero cuando hayan de ser generales y puedan afectar algo á la resistencia de la construccion es preciso establecer préviamente cimbras, apuntalamientos y demás medios auxiliares para impedir que la obra llegue á resentirse por los trabajos de reparacion. El estúdio detenido de los que sea necesario realizar en cada caso de aplicacion determinará la necesidad é importancia de las construcciones auxiliares que se hayan de emplear.

ARTÍCULO III.

Conservacion y reparacion de las demás obras.

Despues de las consideraciones y procedimientos expuestos en los dos artículos anteriores, poco tenemos necesidad de añadir para comprender desde luego la naturaleza de los trabajos que será necesario llevar á cabo en las demás partes que entran á formar las construcciones. Por lo tanto, solo indicaremos las operaciones principales que hay que ejecutar en los casos de más frecuente aplicacion.

438. **Suelos.**—Cuando el entramado es de madera y ha experimentado cualquier degradacion parcial, se reemplazan á veces el cábio ó cábios dañados por otros nuevos, ó si es posible, se conserva la parte no alterada y se liga con el resto por medio de embrochalados convenientemente dispuestos. Si solo hay que reforzar algunas piezas, se hace uso de flejes de hierro ú otras

piezas de madera; pero si la causa de destruccion es permanente, como sucede en muchos casos con la humedad en los puntos de empotramiento, es necesario quitarla antes, apelando á los medios que ya hemos descrito.

Procedimientos parecidos de reparacion se adoptan si es de hierro el entramado, prestándose el material con más facilidad á los refuerzos y ensamblajes que sea necesario ejecutar. Además debe renovarse la pintura cuando por su estado de deterioro no preserve de la oxidacion al material.

La conservacion y reparacion del relleno ó forjado no presenta ninguna dificultad y solo en alguno de los casos anteriores se modifica el primitivo, estableciendo otro ménos pesado ó de distinta naturaleza. Estos trabajos son tanto ó más sencillos cuando se refieren á los techos y pavimentos.

439. **Cubiertas.**—Cuanto se acaba de decir respecto á los entramados de los suelos, es aplicable á las armaduras de las cubiertas, y en este caso son, por punto general, más fácil de ejecutar los trabajos.

El tejado puede encontrarse degradado, bien por desperfectos experimentados en las pizarras, tejas ó planchas metálicas que le formen, bien por alteraciones en la resistencia de los listones ó tablazon sobre que insisten. En el primer caso es fácil reemplazar las partes deterioradas con nuevos materiales, cuidando de enlazarlos convenientemente con los antíguos inmediatos: si son de planchas metálicas se quitan las que presenten grietas ó taladros, á no ser que puedan taparse con soldaduras y la resistencia de la plancha sea tal, que no aparezcan al poco tiempo nuevos desperfectos. En el segundo caso hay que empezar por levantar el tejado y reponer las tablas ó listones que se encuentren en mal estado.

Estos trabajos conviene ejecutarlos en la época del año en que son ménos frecuentes las lluvias, y se llevan á cabo por secciones de pequeña extension. A fin de que la marcha del agua no sufra detenciones y de que la vejetacion no perjudique al tejado, deberá limpiarse éste una vez al año por lo ménos, arrancando de raiz las plantas que le cubran y repasando con mortero, si es necesario, las limatesas y limahoyas.

440. **Empedrados.**—Las depresiones de mayor ó menor extension que aparecen en estas obras provienen, en la generali-

dad de los casos, de asientos desiguales en la capa de arena sobre que insisten ó en compresiones del subsuelo, ocasionadas por las aguas de filtracion.

Cuando la extension deprimida es poco considerable, basta por lo regular extraer las cuñas ó adoquines que comprende y volverlos á colocar, ya sobre una nueva capa de arena, ya sobre otra de mortero ú hormigon, segun las circunstancias, cuidando de sustituir el material roto ó deteriorado por otro nuevo de la misma clase. Si la extension que se ha de reparar es grande, se levanta por completo el empedrado y la capa de arena sobre que insiste, restableciendo uno y otra, y separando en la obra los materiales de distinta resistencia que hayan de formar el primero.

Operaciones análogas se ejecutan en las demás clases de empedrados, renovando unas veces tan solo la parte exterior, cuando ésta es la única qne ha experimentado desgastes ó degradaciones, y haciéndolo otras con la capa inferior y hasta el subsuelo, si no llenan las condiciones que deben cumplir.

441. **Herrajes.**—En las obras accesorias de las construcciones, como maderas de puertas y ventanas, herrajes, etc., la conservacion se reduce, por regla general, á renovar las pinturas que las preservan de la accion de los agentes exteriores y á la reposicion ó ajuste de los clavos, tornillos, pletinas y demás piezas que sirven para unir unas partes con otras.

A más de esto, es preciso cuidar en los para-rayos de la perfecta union de todas las partes que entran á componerlos y de renovar las soldaduras siempre que haya motivo para suponer que hayan podido destruirse. El exámen del estado en que se encuentran debe verificarse una vez al año, por lo ménos, y en caso de notar cualquiera alteracion se procederá inmediatamente á repararla, pues como ya digimos al tratar de su construccion, los para-rayos son más peligrosos que útiles cuando, por una solucion de continuidad cualquiera, no llenan el objeto á que se los destina.

442. **Observacion.**—No entramos aquí en la reseña de otras operaciones secundarias que tienen por objeto la conservacion y reparacion de obras de ménos importancia que las descritas, porque son conocidas de todos y están desde luego al alcance hasta de los operarios destinados á ejecutarlas.

443. **Demoliciones.**—Esta operacion, por más sencilla que parezca, debe ejecutarse tomando ciertas precauciones, á fin de evitar desprendimientos peligrosos.

La demolicion de los muros se ejecuta por regla general empezando por la parte superior á destruirlos por hiladas, si el material de que está compuesto es de grandes dimensiones, ó por zonas horizontales de más ó ménos altura, en el caso contrario. Para esto se emplean picos, zapapicos, palancas, etc., con los que se van desprendiendo los sillares ó mampuestos del mortero que los rodeaba, ó trozos de la fábrica de ladrillo que comprenden cuatro y á veces más hiladas. Si se quiere aprovechar el material se le hace bajar con cuidado empleando los aparatos descritos en otra ocasion, pero si no son utilizables se los deja caer directamente al suelo.

En el caso de estar aislado el muro, y no teniendo grande espesor, se puede apresurar su demolicion haciendo uso de varios puntales situados en un paramento, dispuestos como ya se ha dicho (426), los que fuertemente apretados hacen caer al muro por el lado opuesto. Tambien se consigue el mismo objeto, cuando no es de grande extension, rodeándole horizontalmente con una cuerda á cuyos extremos actúan tornos ó directamente hombres situados á un lado del muro y á tal distancia que al caer no pueda dañarlos.

Antes de proceder al derribo de un muro es preciso aislarle, quitando todas las construcciones accesorias que sobre él se apoyen, como bóvedas, suelos, cubiertas, etc., á fin de facilitar la operacion y evitar desprendimientos peligrosos.

La demolicion de las bóvedas de cañon seguido puede verificarse por secciones paralelas á las cabezas ó por hiladas. En el primer caso no presenta ninguna dificultad la operacion; pero en el segundo hay que establecer préviamente los apeos necesarios, á fin de impedir que al quitar la hilada de clave ó cualquiera de las superiores se desprendan las demás. Estos apeos son indispensables en las bóvedas por arista y con lunetos, al paso que pueden suprimirse en las esféricas, en rincon de cláustro y sus análogas, en las que la demolicion de una hilada no lleva consigo la caida de las inferiores.

En los suelos y cubiertas, como en general en todas las demás obras, las demoliciones se llevan á cabo en sentido inverso

á como se verificó su construccion, tomando siempre las precauciones necesarias para impedir que haya desprendimientos en grande que sean peligrosos.

444. **Trasporte de construcciones.**—Alguna, aunque rara vez, se ha llegado á trasportar construcciones de no grande importancia, de un punto á otro poco distante, adoptando medios ingeniosos para no perjudicar la fábrica de que están compuestas y hacerlas sustentar sobre una base resistente, á fin de que la obra trasportada resulte con la necesaria solidez.

Entre las varias operaciones de esta naturaleza que podriamos citar, bastará á nuestro objeto reseñar ligeramente la que se verificó en Bolonia en 1455 para el trasporte de la torre de Santa María del Tempio, que tenia de altura sobre el suelo 25 metros, cerca de 5 de profundidad en los cimientos y un ancho en la base de poco mas de 4 en cada lado. Esta masa de fábrica se trasladó á una distancia de $13,^{m}30$ por el ingeniero Fioravanti.

Para conseguir el objeto se comenzó, segun expresan los anales de aquella época, por construir la base en que habia de asentarse la torre y por abrir con la profundidad conveniente una zanja de comunicacion entre la posicion primitiva y la que habia de tener despues. Hecho esto, separó Fioravanti la torre del cimiento antiguo, haciéndola insistir sobre rodillos de roble con fuertes cinchos de hierro, despues de haberla revestido con piezas de madera resistentes y bien ligadas: por medio de cuerdas que la rodeaban y tornos establecidos á los lados de la zanja y por la parte anterior y posterior, se empezó el movimiento de la torre. No obstante la rotura de dos rodillos y de haber tomado una marcada inclinacion por esta causa, cuando estaba como á la mitad la operacion, se restableció á la posicion normal colocando nuevos rodillos, y continuó en su marcha hasta apoyarse sobre el cimiento que se la tenia preparado. Esta torre asi trasportada subsistió hasta 1825, en cuya época se la derribó.

Segun se ve, el procedimiento no difiere en la esencia del seguido en el trasporte del gran monolito de que nos ocupamos en el núm. 192.

445. **Conclusion.**—Hemos llegado al término del trabajo que nos habiamos propuesto realizar, por más que la materia se preste á darle mucho mayor desarrollo. La adopcion de las re-

glas y preceptos establecidos en este libro, que á primera vista pudiera creerse que no tienen entre sí toda la conexion que fuera de desear, depende principalmente del criterio propio del constructor, el cual debe en cada caso de aplicacion poner en armonía el objeto é importancia de la obra que haya de ejecutar, con los medios de realizarla y naturaleza de los materiales que deban emplearse ó de que pueda disponer.

El conocimiento de los últimos, y el exámen detenido de las condiciones que deba satisfacer la construccion que se proyecta y de sus peculiares circunstancias, bastarán en la generalidad de los casos, no tan solo para adoptar, despues de un razonado exámen, el sistema de ejecucion más conveniente, con arreglo á lo establecido en esta obra, si que tambien dará márgen en muchas ocasiones á modificar convenientemente los procedimientos descritos.

En construcciones de un carácter especial, como puentes, túneles, obras marítimas, etc., etc., los sistemas y medios de ejecucion difieren con la naturaleza y condiciones de cada obra, segun se explican en los tratados especiales que se ocupan de cada una de estas materias.

APENDICE I.

Procedimientos mecánicos en la cubicacion de tierras.

El ilustre ingeniero Sr. Saavedra, ha deducido un nuevo método para la cubicacion de tierras, cuyos buenos resultados prácticos ha sancionado la experiencia, el cual vamos á dar á conocer con arreglo á una nota publicada acerca de este particular.

Como digimos al principio del núm. 26 del texto, cuya notacion conservaremos en este apéndice, supondremos que cada semiperfil trasversal está formado por el cuadrilátero *apqc* (figura 27), para lo que se puede seguir el procedimiento gráfico descrito en el núm. 20 ó deducir una expresion analítica, que dé el resultado que se busca (a). En este supuesto, hemos deducido (pág. 45), para valor del área del cuadrilátero referido, la expresion

$$A = {}^1/_2 \frac{(y+lt)^2}{t\mp x} - {}^1/_2 l^2 t \ldots\ldots(A)$$

cuya representacion gráfica vamos á obtener.

Empecemos para esto por prescindir por el momento del término ${}^1/_2 l^2 t$, que es constante en cada clase de terreno, y hagamos ${}^1/_2(y+lt)^2 = x'$: el valor A del área buscada, que llamaremos y', será en este caso

$$y' = \frac{x'}{t\mp x} \ldots\ldots(B)$$

que es la ecuacion de una recta, pasando por el orígen de coordenadas rectangulares.

Estas rectas, se construyen trazando desde un punto arbi-

(a) Véase *Nouvelle methode pour le calcul exact des aires de déblai et remblai*, par L. K. Wojciechowski.

trario B (fig. 785) una paralela al eje de las x' y tomando en ella una distancia $BC = AB \times t$: despues se marca á partir del punto C, y á uno ú otro lado, segun sea el signo de x, una série de divisiones tales que la longitud CD referente á una cualquiera de ellas sea igual á $AB \times x$, y entonces la recta AD que una el punto D con el orígen será la recta buscada, puesto que tendremos

$$\frac{y'}{x'} = \frac{AB}{BD} = \frac{AB}{BC - CD} = \frac{AB}{AB(t-x)} = \frac{1}{t-x}$$

En la práctica se reemplaza la línea AD por medio de un hilo fijo á un estilete colocado en el orígen, que se tiende y hace pasar por la division que en la escala BC de las x exprese la inclinacion del terreno.

Determinemos ahora los valores de x', que ya hemos visto tienen por expresion $\frac{(y+lt)^2}{2}$: para evitar su cálculo en cada perfil se toma en una paralela FG al eje de las x' y á partir de F las longitudes que representan los diversos valores de esta expresion para cada uno de los que tome y, ó sea la cota roja, escribiendo en su extremo tan solo estos últimos, y de este modo bastará mirar la graduacion para obtener desde luego la abscisa x'. En este supuesto tendremos que la longitud de la ordenada de la línea AD que marque el hilo correspondiente á la abcisa x', será el valor que, para la cota roja y, tomará el término $\frac{(y+lt)^2}{2(t-x)}$ de la fórmula (A).

El segundo término, constante y negativo, se resta del primero colocando la paralela FG á una distancia del eje de las x' igual á $^1/_2 l^2 t$, y midiendo los valores de y' á partir de dicha paralela, que de esta manera representarán el área buscada A.

Se evita trazar las ordenadas y se facilita su medicion por medio de una plantilla ó muleta graduada PP que aparece en mayor escala en la fig. 786, la cual se mueve á lo largo de una regla directriz, colocada de modo que el cero de las divisiones de la muleta esté siempre en la paralela FG en que van escritas las cotas rojas (a). Por lo tanto, queda reducida la determinacion del área del semiperfil á tender el hilo, haciéndole

(a) Una línea marcada en el plano indica la posicion que debe ocupar el canto de la regla directriz, para que esto se verifique.

pasar por la division de la escala de las x que indiquen la inclinacion del terreno; á apoyar la muleta P sobre la regla directriz corriéndola hasta que el cero de la escala coincida con la graduacion de la cota en la recta FG, y á leer en dicha escala la longitud correspondiente desde cero hasta el punto de encuentro con el hilo.

Si la naturaleza del terreno varía, tambien variará el valor de t, y por lo tanto, el punto C que fija la entrada de la escala de las x, la distancia $^1/_2$ l^2t que determina la posicion de la recta FG y los valores $^1/_2(y+lt)^2$ que representan las longitudes con que se gradúa esta línea: seria preciso, por consiguiente, trazar varias escalas de cotas, graduándolas con arreglo á los nuevos valores de t. En cuanto á los de x, como son independientes de t, solo varían la distancia $B\,C$ del punto de entrada de las escalas de estas inclinaciones, y con objeto de evitar confusion, se marcan sobre una regla móvil MN (fig. 786), no señalando sobre la recta BC más que los puntos de entrada C, relativos á cada talud: con estos puntos se hace que coincida siempre el cero de las escalas de la regla MN. Esto presenta además la ventaja de poder colocar el extremo del hilo que pasa por las divisiones de x, en el mismo plano de la cara superior de la plantilla y el punto de union con el estilete, evitando las inexactitudes que por causa de la direccion del hilo se presentarian en otro caso.

Cuando los taludes de la explanacion son de $^1/_4$ ó $^1/_{10}$, la longitud BC que determina la posicion del punto de entrada es respectivamente igual á 4 AB ó 10 AB, siendo preciso construir un dibujo de dimensiones exageradas y resultando muy oblicuas las intersecciones del hilo. Uno y otro inconveniente se evitan reduciendo la escala de las inclinaciones x para los taludes referidos y haciendo otro tanto en la misma proporcion con las cotas y.

Todas estas escalas y graduaciones se dibujan sobre un tablero, á fin de practicar las operaciones con mayor facilidad, representando la fig. 786, como la mitad de dicho tablero, que va provisto de cepos para sujetar la regla directriz y la de las x. Las diversas posiciones que debe ocupar aquella para cada talud, se marcan con líneas de trazo y punto, y se señalan nuevos puntos de entrada para el caso en que la longitud de

la regla móvil no alcanzase á contener los valores de x que se necesiten (a).

Cuando todo el semiperfil está en desmonte ó en terraplen se obtiene sin dificultad su superficie procediendo de la manera indicada; pero cuando hay á la vez desmonte y terraplen, la cota y cambia de signo, y la fórmula (A) que expresa tan solo la diferencia entre los triángulos *sod* y *sbc*, (figs. 33 y 34, lámina 2), no determina entonces las áreas, sino los triángulos *obk* y *kcd* de las figuras 36 y 37.

Para conocer por medio del tablero cuando hay desmonte y terraplen, observaremos que la posicion límite del semiperfil en desmonte, cuando la inclinacion del terreno es x, está representada por el triángulo rectángulo *adb* (fig. 787), cuyos dos catetos son l y lx, y cuya superficie es $\frac{1}{2}\, l^2x$. Todo semiperfil que con la referida inclinacion tenga un área menor que $\frac{1}{2}\, l^2x$, contendrá desmonte y terraplen. Por otra parte, dicha área límite está dada por la expresion (A) que puede ponerse bajo la forma $y'-\frac{1}{2}\, l^2t$; luego igualando ambos valores, resultará para el lugar geométrico de los puntos correspondientes la expresion,

$$\frac{l^2x}{2}=y'-\frac{1}{2}\, l^2t.$$

Eliminando x por medio de la ecuacion (B) para referirla á los ejes rectangulares de la fig. 785, y tomando su signo positivo, resultará para el lugar geométrico buscado la ecuacion

$$y'^2=\frac{l^2}{2}x'$$

que corresponde á una parábola pasando por el orígen de coordenadas. Por lo tanto, siempre que la interseccion del hilo con la muleta resulte entre esta parábola y el eje de las x' habrá desmonte y terraplen; porque en la misma direccion del hilo, es decir, para la misma inclinacion x del terreno, se encontrará otro punto que estará situado en la parábola y dará el área límite, la cual será mayor que la correspondiente al punto citado.

De este modo se conoce desde luego si hay en un mismo

(a) El dibujo de la figura está hecho á escala con cuidado, representando como ejemplo el caso en que $t=4$; $y=6{,}40$; $x=+0{,}73$, y deduciéndose para el área 17,80 metros cuadrados.

semiperfil desmonte y terraplen, y en tal caso la fórmula (A) dará como sabemos la diferencia entre uno y otro. Para deducirla con el tablero se observará que aunque la cota *cd*, es de desmonte (fig. 37) el talud *bo* es de terraplen y se obtendrá colocando la muleta y reglas en las posiciones que corresponden á este último, tomando la cota roja por debajo del cero á causa de su signo negativo: es conveniente, para no entorpecer el trabajo, anotar el perfil y dejar la determinacion de la diferencia para cuando, terminada la medida de las áreas de desmonte, se coloquen las reglas en las posiciones correspondientes á los terraplenes.

La superficie del triángulo en desmonte *cdk*, es igual á $\frac{y^2}{2x}$ y para construirla con el tablero se llevan sobre el eje de las x' (fig. 785) y á partir del origen la série de los valores de $\frac{y^2}{2x}$ escribiendo en las graduaciones, no estos valores, sino los de las cotas á que correspondan, análogamente á lo hecho en casos anteriores. El punto de entrada de la escala de las x se coloca en el encuentro B de la línea de cotas con el eje de las y' y la regla directriz de la muleta á distancia conveniente para que su cero se mueva siempre sobre el eje de las x'. Tendiendo el hilo en la direccion que indica el valor de x señalará la cantidad $\frac{y^2}{2x}$ la division en que encuentre á la muleta, es decir, que expresará la superficie del triángulo en desmonte, la cual, añadida á la diferencia ya mencionada, dará la de terraplen.

Si en vez de estar la cota roja en desmonte estuviera en terraplen, las consideraciones y la ecuacion que hemos deducido serian las mismas y solo cambiaria el ancho de la base de la explanacion, por cuya razon seria preciso construir otra parábola con el nuevo valor del parámetro. En la construccion de la figura 786 se han tomado para el semi ancho l, los valores $3,^{m}00$ y $2,^{m}50$, y las parábolas se distinguen con letreros á fin de evitar confusion. Para los taludes de $^{1}/_{4}$ y $^{1}/_{10}$ se han trazado otras dos parábolas por la diversidad de escalas.

Cuando una ordenada cae bajo la parábola de desmonte, y al tratar de determinar la diferencia con el terraplen, cae exterior á la parábola que corresponde á este último, el semi-perfil no comprende entonces más que desmonte, y su seccion ocupa

una posicion intermedia entre los dos triángulos *ADB* y *AD''B''* (fig. 788), siendo *BD* y *B''D''* respectivamente iguales á los semi-anchos de la explanacion. En efecto, dicha diferencia es igual á la de los otros dos *sod* y *sbc* (fig. 37) que en el límite, cuando el terraplen se reduce ácero, es igual á $\frac{l^2x}{2}$ que corresponde, como ya hemos demostrado, á la parábola de terraplen; resultando que toda ordenada exterior dará un área mayor, y por consiguiente un triángulo tambien mayor que ocupará una posicion análoga á la *AB'D'* (fig. 788).

Haciendo uso de la fig. 786 que hemos descrito, no se han determinado más que las áreas, debiendo procederse por los sistemas ordinarios para calcular los volúmenes. Sin embargo, haciendo algunas modificaciones en el tablero en que se traza la referida figura, se pueden representar gráficamente los volúmenes por medio de superficies en que las ordenadas sean iguales á las áreas de los perfiles trasversales y las distancias entre éstos sean las que les correspondan, segun vimos en el número 35 y siguientes del texto.

Para aplicar este procedimiento se prepara una tira de papel trasparente, trazando á lo largo de ella una recta sobre la que se marcan las distancias de los perfiles, y se levantan perpendicularmente á uno y otro lado las ordenadas. La parte central del tablero en que se determinan las áreas se forma de cristal, recubierto de un papel muy trasluciente, en el que se dibujan las escalas de las cotas. En una ranura practicada en el marco del tablero se empotra la escala de las *x*, que puede moverse longitudinalmente, y cuyo plano superior, en el que van las divisiones, enrasa con el del tablero. La tira de papel que se ha preparado desliza á lo largo de éste, por medio de dos tornos ó rodillos colocados en los bordes opuestos del tablero, los que tienen además un movimiento trasversal con objeto de mantener en coincidencia la línea de distancias de la tira con la escala de las cotas que corresponden en el tablero. Al correr de este modo la tira de papel sobre el cristal arrollándose en un rodillo y desarrollándose en el otro, cuando pasa cada ordenada (que en este tablero hace el efecto que la muleta en el anterior) sobre la cota á que su perfil se refiere, se tiende el hilo en la direccion que indique la escala de las *x* y su punto de encuentro con la ordenada determinará una longitud que será igual al área,

sin haber tenido necesidad de deducir el valor numérico de esta. Uniendo todos estos puntos, tendremos la representacion de los volúmenes que buscábamos. Terminada la tira, se la invierte, y repitiendo la misma operacion para los semi perfiles situados al otro lado del eje, se obtendrá una nueva superficie que unida á la que antes se ha obtenido, representarán los volúmenes totales y podrán medirse fácilmente con planímetros ó por los medios que se indicaron en el núm. 18 y siguientes del texto.

Hasta aquí hemos supuesto que no estaban dibujados los perfiles trasversales; pero si lo estuvieran es fácil obtener los resultados que se buscan de la siguiente manera, suponiendo que el semi perfil está limitado por cuatro líneas rectas.

La ecuacion (A) anterior se puede descomponer, prescindiendo por el pronto del segundo término y dando al primero la forma

$$\frac{(y+lt)\frac{y+lt}{t\mp x}}{2}$$

lo que nos dice que el área que representa, ó sea la del triángulo *AED* (fig. 789), es una cuarta proporcional á las tres cantidades $y+lt$, $\frac{y+lt}{t\mp x}$, y 2, de las que las dos primeras representan la base *AE* y la altura *EF* de dicho triángulo.

Si ahora se toma en la horizontal que pasa por el punto *A* y á partir del *H* en que corta á la vertical *DF*, límite de la esplanacion, una magnitud *HG* igual á 2, y refiriendo horizontalmente el punto *E* en que el talud de la explanacion encuentra el eje del perfil á la citada vertical en el punto *F*, y si por último se unen los puntos *F* y *G* por una recta que se prolongue hasta encontrar en *I* al mencionado eje, la distancia *EI* representará el área del triángulo *AED*. En efecto, por ser equiángulos los triángulos *EFI* y *FGH* se tendrá.

$$\frac{EI}{FH}=\frac{EF}{2}:$$

poniendo por *FH* su igual $AE=y+lt$ y por *EF* su valor $\frac{y+lt}{t\mp x}$ se deduce.

$$EI=\frac{FH\times EF}{2}=\frac{(y+lt)\frac{y+lt}{t\mp x}}{2}=\frac{(y+lt)^2}{2(t\mp x)}=\text{Area AED}.$$

Para conocer esta superficie bastará por lo tanto medir la longitud EI y restando la constante $\frac{1}{2} l^2t$, área del triángulo BEC, se tendrá la que buscamos.

Si en vez de tomar GH, igual á 2, tomamos una magnitud doble ó sea igual á 4, la recta GF cortará al eje de la explanacion en un punto, cuya distancia al E será la mitad de la obtenida anteriormente y representará la semiárea que se busca. Esta modificacion, sin alterar en lo más mínimo el procedimiento, pues el tener que duplicar la longitud medida se evita empleando para practicar esta operacion una escala mitad de la en que se hallen dibujados los perfiles, ofrece la ventaja de obtener los puntos que se buscan por intersecciones mejor definidas y con más exactitud en las lecturas.

Pudiera suceder que el punto G cayera á la izquierda del eje de la explanacion (fig. 790) y que el I resultara por bajo de la base del perfil. Aplicando á este caso las consideraciones anteriores, se deducirá que la longitud EI representa el área del triángulo AED.

Si á partir del punto E (figs. 789 y 790) se toma una magnitud EN, en la escala que sirve para medir las longitudes que representan las áreas, y que sea igual al término sustractivo $^1/_2 l^2t$, la distancia IN nos dará el área del semiperfil y la BN, diferencia entre EB y EN, será igual á $lt-{}^1/_2 l^2t$. Vemos, pues, que en el primer caso (fig. 789) basta para obtener el área del semiperfil añadir á IB la longitud BN, ó sea dicha diferencia; y en el segundo (fig. 790), restar de esta la longitud BI correspondiente á este caso; lo cual puede generalizarse diciendo que en todos los casos, para determinar la longitud que representa el área del semiperfil hay que verificar la suma algebráica de las dos magnitudes BN y BI, considerando esta positiva cuando se encuentre por encima de la base de la explanacion (fig. 789) y negativa cuando esté por debajo (fig. 790).

Con el fin de efectuar de la manera más breve tanto la construccion geométrica cuanto la medicion de la longitud que representa el área que se busca, se hace uso de una regla representada en la fig. 791. Sus dimensiones se determinan atendiendo á los valores que hayan de darse á t y á l, y á la escala en que estén dibujados los perfiles trasversales: para fijarlas en

el tipo que presentamos, se han adoptado para t los de 1; 4 y 10; y para l, 3 metros en el desmonte; y ⅙ y 2,5 respectivamente en el terraplen, que son los mismos que se han tomado para la construccion del tablero referido; y en cuanto á escala del dibujo de los perfiles se ha supuesto la de $\frac{1}{250}$.

De estos datos se deduce la longitud que deberá tener la regla (fig. 791) que como despues justificaremos será por lo ménos 0,m24, siendo su ancho el necesario para que colocada sobre el papel disten 0,m016 las dos rectas paralelas que se marcarian con un lapiz siguiendo sus bordes longitudinales, que es la magnitud de 4 metros en la referida escala de $\frac{1}{250}$. En uno de los citados bordes se marca la division correspondiente á la escala de $\frac{1}{500}$, mitad de la anterior, y en el otro las longitudes que sirven para facilitar la medicion, asi como el ancho de cuatro metros cumple el mismo objeto en lo que se refiere á la construccion geométrica, ó sea determinacion de los puntos análogos al I (figs. 789 y 790). Las señales I, IV y X limitan las longitudes contadas á partir de la horizontal que pasa por el centro del boton de la regla, para los diversos valores del término lt apreciados en la escala de $\frac{1}{250}$, correspondientes á los de $t=1$, $t=4$ y $t=10$ del talud de la esplanacion; y los puntos designados con los números 1, 4 y 10 determinan las magnitudes contadas desde el mismo orígen, pero en sentido contrario que las anteriores y medidas en escala de $\frac{1}{500}$, de los valores correspondientes á la expresion $lt-{}^1/_2l^2t$, para los de t anteriormente indicados.

El punto T designa el extremo de la longitud representativa de esta diferencia en el caso del terraplen, y el T' el relativo á la magnitud lt en idéntico caso. Como se ve, se ha invertido la colocacion de estas señales, que figuran: la primera entre las correspondientes á lt en los diversos casos de desmonte, y la segunda entre los de la diferencia $lt-{}^1/_2l^2t$. El manejo de la regla y la consideracion de que un perfil en terraplen, prescindiendo de los valores particulares de l y t, puede considerarse como uno en desmonte invertido, justifican la inversion dada á las señales que han de servir para determinar las áreas de aquella naturaleza.

Una vez conocidos el fundamento y disposicion de la regla, fácil es comprender su uso. Colocada en la posicion que indica el rectángulo *JKLM* (figs. 789 y 790) es decir, coincidiendo su borde derecho con la vertical que pasa por el punto *D*, interseccion de los taludes del terreno y de la esplanacion, y de modo que el orígen de las distancias marcadas en dicho borde, ó sea la horizontal del centro del boton, coincida á su vez con la base *BC* de la esplanacion, se podrán marcar los puntos *G* y *F*; el primero señalando el ancho de la regla, que ya hemos dicho representa 4 metros, en la horizontal que pasa por el extremo *A* de la cota; y el segundo trasladando á la vertical *DF* el punto designado por el número romano igual al talud de la esplanacion; pues segun se ha dicho, los citados números limitan las longitudes correspondientes á los valores de lt.

Hecho esto, se levanta la regla y se marca la interseccion *I* que determina la longitud *IB*, á la que hay que añadir la correspondiente al valor de la diferencia $lt - \frac{1}{2}\, l^2t$, si como sucede en la fig. 789 queda por encima de la base de la esplanacion; ó cuya magnitud hay que restar de esta diferencia, si como representa la fig. 790 resulta el punto *I* por bajo de la mencionada base.

Estas operaciones se efectúan fácilmente merced á las señales marcadas con números arábigos en el borde de la regla. Para conseguirlo, basta colocar ésta de modo que el borde en que está marcada la escala de $\frac{1}{500}$ coincida con la vertical *IE* que pasa por el eje del perfil, coincidiendo á la vez con la base *BC* de la esplanacion la señal marcada con el número arábigo igual al talud en el perfil que se considera. Colocada de este modo la regla, se marca en la vertical *IE* el punto central de la escala de $\frac{1}{500}$, ó sea el que tiene la division 60, y que corresponde á la horizontal que ha servido de orígen para contar las longitudes que figuran en el borde superior, y así quedará determinado el punto *N* (figs. 789 y 790), cuya separacion del *I* medida con la escala de $\frac{1}{500}$ nos da el valor del área del semiperfil; pues habremos efectuado en la primera figura la suma geométrica de las dos distancias *IB* y $lt - \frac{1}{2}\, l^2t$, y en la segunda la diferencia de estos valores.

Con objeto de no tener que marcar el punto N ni mover la regla para medir la distancia NI, convendria situar el cero de la escala en el centro de la regla, ó sea en la horizontal que ha servido de orígen para contar las longitudes que representan los valores de lt y $lt-\frac{1}{2}\ l^2t$; pues dispuesta de este modo bastaria leer la division con que se correspondiera el punto I una vez colocada en la posicion que se ha indicado para señalar aquel punto; pero como esto obligaría á construir una regla de longitud excesiva si habia de contener suficiente número de divisiones para poder apreciar con una sola medicion la mayor parte de las áreas, se ha preferido disponer la numeracion de la manera indicada en la figura, y usarla como ya se ha explicado. La expedicion que se adquiere trabajando con la regla permite leer las divisiones de la escala á contar de la horizontal del centro, sin necesidad de marcar el punto N, ni tener tampoco que correr aquella para coincidir el cero con uno de los extremos de la longitud que se quiere medir.

Hasta ahora hemos expuesto la manera de usar la regla para el área de los perfiles de la derecha; pero si se hace girar 180° se ve fácilmente que para que se halle en la nueva posicion dispuesta para determinar las áreas de los de la izquierda, será suficiente colocar las señales romanas y arábigas en posiciones simétricas á las que ocupen, respecto al orígen, despues de verificado el giro de 180°. Por lo tanto, para tener una regla que satisfaga á este doble objeto, hay que marcar en uno y otro sentido, á partir del orígen ó centro de la misma, las longitudes correspondientes á los valores de lt y $lt-{}^1/_2\ l^2t$. En este caso convendria contar tambien la graduacion de la escala de $\frac{1}{500}$ desde el mencionado orígen en uno y otro sentido.

Con los valores adoptados para l y t resultan para lt y $lt-\frac{1}{2}\ l^2t$ los expresados en el cuadro siguiente, teniendo en cuenta que los que corresponden á la primera se multiplican por dos para reducirlos á la escala, mitad en que se aprecian los de la segunda y se miden las áreas de los semiperfiles.

	t.	l.	lt.	$lt - \frac{1}{2} l^2 t$.
Terraplen.. .	$^2/_3$	2,5	3,34	3,34— 2,08= 1,26
Desmonte.. .	1	3	6,00	6,00— 4,50= 1,50
	4	3	24,00	24,00—18,00= 6,00
	10	3	60,00	60,00—45,00=15,00

De este cuadro se deduce la longitud mínima de la regla, que debe ser, como antes se ha dicho, 0,m24, si ha de marcarse á uno y otro lado del orígen el valor de lt para el caso de t=10, que siendo 0,m060 exige en ambos sentidos, á partir de dicho orígen, una longitud de 0,m12 para representarla en escala de $\frac{1}{500}$. Tambien conviene observar que los valores de lt para el caso de t=1, y de $lt - \frac{1}{2} l^2 t$ en el de t=4, estan representados por la misma longitud 6,00; y por consiguiente que cuando se construya una regla que haya de servir para determinar las áreas de todos los semiperfiles, será preciso marcar con la doble numeracion IV; I ó con 1; 4 los extremos de las longitudes iguales á 6, tomadas en los dos sentidos á partir del orígen de estas distancias.

Como los valores de la expresion $lt - \frac{1}{2} l^2 t$ para los de t en el caso de terraplen, y en el de desmonte con talud de 1 por 1, difieren muy poco, seria difícil marcarlos con claridad en la regla, si ésta ha de servir para todos los semiperfiles, y en consecuencia no cometer errores en su aplicacion. Con objeto de evitar aquella dificultad y este inconveniente, creemos lo más oportuno usar dos reglas, dispuesta cada una para la determinacion de los semiperfiles de cada lado.

Si el semiperfil (fig. 792) tiene una parte en desmonte y otra en terraplen, se aplica el método general para determinar la diferencia de las áreas en desmonte y terraplen, que es el resultado que se obtiene, segun ya se ha expuesto, restando del área del triángulo AED la del BCE, ó sea el valor de $\frac{1}{2} l^2 t$, que representa la última, y cuya diferencia puede calcularse gráficamente. Para determinar el valor de cada una de aquellas superficies, bastará hallar el de una de ellas, la del terraplen, por ejemplo, que se aprecia fácilmente por medio de la regla, aplicando la construcion gráfica al triángulo $BC'A$, como se indi-

ca en la figura, donde está representada dicha área por la longitud AI', cuarta proporcional á las líneas $C'G'=4^m$, BC' y BA, base y altura respectivas del triángulo en cuestion.

En este caso es más espedito considerar el perfil completo (fig. 793) para determinar por dos operaciones las áreas en desmonte y terraplen que en él aparecen. Para conseguir esto en lo que se refiere á la primera, se colocará la regla del modo que indica la figura, es decir; coincidiendo uno de sus cantos con la horizontal que pasa por el punto D y en la posicion que marca el rectángulo $JKLO$; señalando en la recta definida por el borde inferior el punto C, en que está cortada por la vertical del extremo B de la base de la esplanacion, y uniendo dicho punto con el A, en que la vertical del de paso M encuentra á la horizontal del borde superior; el punto de interseccion N de la recta, así determinada, con la base del perfil, limita con el M la longitud que, medida con la escala de $\frac{1}{500}$, representa el área del desmonte. En efecto; los dos triángulos AEC y AMN son semejantes, y se tendrá por lo tanto

$$EA : EC :: AM : MN.$$

poniendo por EA su valor $4,^m$, ó sea el ancho de la regla, como EC y AM son respectivamente la base y altura del triángulo de desmonte, resulta que el área de éste está representada por la magnitud MN medida con la citada escala.

Análoga construccion practicaríamos para determinar el área del triángulo $D'B'M$ en terraplen, colocando la regla en la disposicion indicada por el rectángulo $J'K'L'O'$. Dicha área estará representada por MN' en la escala de $\frac{1}{500}$, como es fácil deducir por la proporcionalidad de los lados homólogos en los triángulos semejantes $A'C'E'$ y $A'MN'$.

APENDICE II.

Tiempo invertido en la ejecucion de diversos trabajos.

Hemos consignado en el texto de esta obra que el coste de una construccion cualquiera depende del precio de los materiales y del importe de la mano de obra; y como el principal elemento de la última es el tiempo que en ella se invierte, creemos conveniente insertar aquí los valores de los resultados que se han obtenido por la experiencia, para deducir este tiempo, en el supuesto de que los operarios empleados tienen la fuerza y destreza ordinarias, y de ser de diez horas el tiempo diario que se destina al trabajo.

OBRAS DE TIERRA.

Desmontes (metro cúbico).

	Horas.
Tierra vegetal	0,60
Idem ordinaria un poco mezclada	0,60 á 0,75
Idem franca	0,90
Greda	1,40 á 1,50
Tierra dura y pedregosa	1,20 á 2,00
Roca sacada á barrenos	5,50

Tiro de pala (metro cúbico)

Tierra vegetal		0,65
Greda y toba		0,75
Fango		0,80
Tierra ligera	⅕ del desmonte.	0,56
Idem fuerte ordinaria	⅕ del desmonte.	0,90
Idem muy dura mezclada con piedras	⅕ del desmonte.	1,12
Toba ordinaria	⅕ del desmonte.	1,35
Idem muy dura	⅕ del desmonte.	1,80

	Horas.

Trasporte (metro cúbico).

Con carretillas á 30,^{m} de distancia horizontal:	
Tierra vegetal...........................	0,45
Tierra dura, piedra, greda..................	0,55
Con carro de dos caballerías y 1,^{m}3 de capacidad á 100 metros de distancia, comprendiendo la vuelta...........................	0,06 á 0,07

Apisonado (metro cúbico).

Tierra vegetal gredosa.....................	0,50 á 0,66
Idem franca arenosa ó fuerte...............	0,40
Idem gredosa y toba.......................	0,64

Revestido de césped (metro cuadrado).

Extraccion..............................	0,50 á 1,30
Empleo sin comprender el trasporte.........	0,60 á 0,80
Aproximacion y empleo....................	1,30 á 1,45

OBRAS DE ARTE.

Carga (metro cúbico).

Mampuestos ú hormigon en carretillas.......	0,70 á 0,80
Mampuestos en un carro..	0,75 á 0,85

Trasporte (metro cúbico).

Trasporte á 30 metros de mampuestos ú hormigon en carretilla y en rampa de 0,08. (El tiempo del trasporte aumenta en 0,^{h}1 por 0,01 de inclinacion de más)..............	0,50 á 0,80
Trasporte á 100^{m} en un carro de 0,^{m}75 de capacidad, contando ida y vuelta..........	0,087
Trasporte á 100^{m} de sillares ó mampuestos en un cangrejo, con un maestro y seis operarios, ida y vuelta. (Llevando ordinariamente el vehículo 0,^{m}33, cada viaje será ⅓ del valor puesto al lado)......................	0,195
Elevacion á 8^{m}, de sillares, á razon de 0,^{h}1 por metro (cábria servida por dos oficiales y seis operarios; volúmen del sillar 0,^{m3}75)......	0,96

	Horas.
Sillería (metro cúbico).	
Carretales en seco (un maestro, dos oficiales y un operario)........................	2,00
Carretales con mortero (un albañil y un operario)................................	9,46
Muros rectos (un maestro un oficial y tres operarios)................................	3,38
Muros cilíndricos con el mismo personal.....	4,05
Bóvedas y fustes de columnas (el mismo personal)................................	6,75
Aristeros de bóvedas (idem id.)............	10,13
Metro cuadrado de enlosado vertical de 0,^{m}06 de espesor (idem id.)..................	1,31
Mampostería (metro cúbico).	
Mampostería en seco (un mampostero y un operario)...............................	4,60
Idem con mortero y el mismo personal......	6,00
Idem id. con sujecion y andamios..........	6,50
Ladrillo (metro cúbico).	
Macizos ordinarios (un albañil y un operario).	5,00
Muros que exijan andamios................	7,00
Paramentos (metro cuadrado.)	
Mampostería en seco con sujecion (un albañil)................................	0,80
Idem con mortero y rejuntado (un albañil)...	1,00
Muros rectos de ladrillo con mortero (un albañil)................................	1,20
En bóvedas y partes circulares............	1,80
Rejuntado de muros rectos (un albañil)......	1,00
Idem de bóvedas (un albañil)..............	1,60

LISTA DE LOS PRINCIPALES AUTORES CONSULTADOS.

Barré.—Élements de charpenterie métalique.
Betancourt.—Description de la salle d'éxercice de Moscou.
Bruère.—Traité de consolidation des talus.
Byrneand Spons.—Spons' Dictionary.
Claudel et Laroque.—Pratique de l'Art de construire.
Crésy.—An encyclopaedia of civil engineering.
Débauve.—Éxécution des travaux.
Demanet.—Cours de construction.
Etzel.—Essai sur la disposition des grands chantiers de terrasement.
Évrard.—Les moyens de transport.
Goschler.—Traité practique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.
Gratry.—Description des appareils de maçonnerie.
Humber.—A record of the progress of modern engineering.
Macquorn-Rankine—A manual of civil engineering.
Marin Carburi.—Monument élevé à la gloire de Pierre-le-Grand.
Matheson.—Works in iron.
Pain.— Carpentry and Building.
Perdonnet.—Traité élementaire des chemins de fer.
Sganzin.—Programmes ou resumés des leçons d'un Cours de Construction.
Tredgold.—Elementary principles of Carpentry.

PUBLICACIONES PERIÓDICAS.

Annales des ponts et chaussées.
Annales du genie civil.
Engineering.
Giornale del genio civile.
Il Politecnico.
Nouvelles annales de la Construction.
Nuovi Annali di Costruzioni.
Revista de Obras públicas.
The Builder.
The Civil engineer and architects' journal.
The Engineer.

LISTA DE SUSCRITORES.

Abarca (D. José F).
Agero (D. Mariano).
Aguilar (D. Juan), Ingeniero de Caminos.
Aguinaga (D. Ramon).
Alcázar (D. Juan José).
Alonso y Grimaldi (D. Gregorio), Ingeniero de Caminos.
Alvarez (D. José).
Aranguren (D. Tomás), Arquitecto.
Arce (D. José).
Aviñó (D. Mariano).
Azpiroz (D. José).
Baranda (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Baron (D. Fernando), Ingeniero de Caminos.
Bellon (D. José), Ingeniero de Caminos.
Belmás (D. Mariano), Arquitecto.
Berrocal (D. Enrique), Arquitecto.
Biblioteca de Ingenieros Militares.
Blanch y Pons (D. Francisco), Arquitecto.
Bofill (D. Manuel), Ingeniero de Caminos,
Borregon (D. Antonio), Ingeniero de Caminos.
Builla (D. Luis).
Caballero y Muguiro (D. Andrés), Ingeniero de Caminos.
Calzada (D. José María de).
Cardenal (D. Cárlos), Ingeniero de Caminos.
Carderera (D. Mariano), Ingeniero de Caminos.
Clairac (D. Pelayo), Ingeniero de Caminos.
Crespo y Camprobin (D. Pablo).
Crespo (D. Enrique).
Cruzado (D. Antonio).
Diez (D. Emilio).
Direccion de Obras públicas.
Dominguez (D. Domingo), Ingeniero de Minas.
Echegaray (D. Eduardo), Ingeniero de Caminos.
Escalona (D. Eduardo), Ingeniero de Caminos.
Escobar y Ramirez (D. Alfonso).
Escuela de Minas.
Escuela de Arquitectura.
Escuela de Ingenieros de Caminos.
Estada (D. Eusebio), Ingeniero de Caminos.
Faquineto (D. José María), Ingeniero de Caminos.
Federico (D. Francisco de), Ingeniero de Caminos.
Fernandez (D. Maximiliano).
Fernandez Villaverde (D. Enrique), Ingeniero de Caminos.
Fernandez Yañez (D. Juan), Ingeniero de Caminos.
Flores (D. Justino).
Garagarza (D. Eugenio).
Garayzabal (D. Juan Cruz), Ingeniero de Caminos.
García Hernandez (D. Adolfo).
García Araus (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
García Rendueles (D. Rufo), Ingeniero de Caminos.
Gayoso y Pardo (D. Ramon).
Gaviña (D. Wenceslao), Arquitecto.
Ger y Lobo (D. Florencio), Director de Caminos vecinales.
Gil Sanz (D. Amalio), Ingeniero de Minas.
Gonzalez Molada (D. Justo), Ingenieros de Caminos.
Guerendiain (D. Ignacio).
Gueroult (D. Alejandro).
Guijelmo (D. José), Ingeniero de Caminos.

Inchaurrandieta (D. Rogelio), Ingeniero de Caminos.
Ingeniero Jefe de Obras públicas de Teruel.
Junta consultiva de Caminos.
Junta superior facultativa de Minas.
La Casa (D. Manuel), Ingeniero de Minas.
Lafuente (D. Abelardo).
Lafuente (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Landecho (D. Fernando).
Lasaña (D. César), Ingeniero de Minas.
Lázaro y Jimenez (D. Adrian).
Lázaro (D. Amado), Ingeniero de Caminos.
Ledo (D. Eulogio), Ingeniero de Caminos.
Lopez Martin (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Loring (D. Jorge).
Llasera (D. Enrique), Ingeniero de Caminos.
Llovera (D. José), Ingeniero de Caminos.
Manera (D. Honorato), Ingeniero de Caminos.
Marin y Diaz (D. Luis), Ingeniero de Caminos.
Maristany (D. Eduardo).
Martin Montalvo (D. Diego).
María (D. Julian M. de).
Martinez de Toro (D. Federico).
Martin (D. José).
Melon (D. Manuel).
Mendez (D. José).
Merelo (D. Manuel).
Mojados (D. Eduardo), Ingeniero de Caminos.
Monares (D. Rafael), Ingeniero de Caminos.
Montagut (D. Ramon).
Montes (D. Saturnino).
Morales y Ramirez (D. José).
Morillo (D. Juan Cárlos).
Mr. Allan Wilson (C. E.)
Oficina de Obras públicas de Barcelona.
Oficina de Obras públicas de Pontevedra.
Oficina de Obras públicas de Zamora.
Oficina de Obras públicas de Sória.
Oficina de Obras públicas de Sevilla.
Olano (D. Casto), Ingeniero de Caminos.
Orbe y Asensio (D. Nicolás).
Ovés y Sentis (D. Bartolomé).
Page (D. Eusebio), Ingeniero de Caminos.
Pardo (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Paredes (D. Gregorio).
Pelaez (D. Pedro).
Peralta (D. Eduardo), Ingeniero de Caminos.
Prieto (D. Francisco), Ingeniero de Caminos.
Regueral (D. Salustio), Ingeniero de Caminos.
Rivero (D. Nicolás).
Riaño (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Rodriguez Intilini (D. Vicente), Ingeniero de Caminos.
Rodriguez Leal (D. Joaquin), Ingeniero de Caminos.
Rodriguez (D. Gabriel), Ingeniero de Caminos.
Rodriguez (D. Eustasio).
Rubio (D. Manuel).
Ruiz Jareño (D. David), Arquitecto.
Ruiz de Vilanova (D. Napoleon), Ingeniero de Caminos.
Saavedra (D. Eduardo), Ingeniero de Caminos.
Sanchez (D. José), Ingeniero de Caminos.
Sanz (D. Pelegrin).
Sanz Zornoza (D. Manuel), Ingeniero de Caminos.
Sicres (D. Manuel).
Sola (D. Enrique).
Stephenson Mould (D. Juan).
Tardieu (D. Julio L.).
Vazquez (D. Cárlos María).
Vildósola (D. Juan), Ingeniero de Caminos.
Villanova (D. José), Ingeniero de Caminos.
Viloria (D. Segundo).
Vitini Alonso (D. Gabriel).

INDICE.

PARTE TERCERA.

Conservacion y reparacion de las construcciones.

CAPÍTULO I.

Obras de tierra.

ERRATAS PRINCIPALES.

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
21	7	razon por la que	por cuyo motivo
21	18	$V'={}_{1}\frac{S+s+S'+s'}{2}$	$V'=1\frac{S+s+S'+s'}{2}$
36	12	l unto	al punto
41	32	distancia *ab*,	distancia *cb*,
48	23	$\frac{A\pm y}{B\pm x}=\frac{2(A\pm)y}{2(B\pm x)}$	$\frac{A\pm y}{B\pm x}=\frac{2(A\pm y)}{2(B\pm x)}$
51	14	os valores	los valores
70	11	$0,^{m}65$ á $0,^{m}10$	$0,^{m}05$ á $0,^{m}10$
135	16	*B* á *m'*	*B'* á *m'*
154	17	las mampostería	las mamposterías
179	6	el medio	en el medio
182	14 y 15	basante	bastante
221	37	nuesfra era	nuestra era
222	18	jecucion	ejecucion
223	7	convenienmente	convenientemente
225	23	*dc*	*de*
252	21	y el	y es
258	33 y 34	basla	basta
270	6	*a* y *o*	*a* y *b*
270	10	*o*	*b*
271	19	*mr*	*mn*
272	nota	1528	1518
285	1	al	el
330	13	codad	codal
338	38	*convadas*	*combadas*
475	5	*Byrneand*	*Byrne and*

MADRID, 1876.—Imp. y fund. de la Viuda é hijos de J. A. García, Campomanes, 6.